

THESIS

MUNICH

1963

Guss- und Angusskronen

**Untersuchungen über die Passgenauigkeit
in Abhängigkeit vom Präparationswinkel**

Wolfgang Zähringer

LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153506_0033

AUS DER PROTHETISCHEN ABTEILUNG

Leiter: Prof. Dr. H. van Thiel

DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. Dr. J. Heiss

Guss- und Angusskronen

**Untersuchungen über die Passgenauigkeit
in Abhängigkeit vom Präparationswinkel**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Wolfgang Zähringer
Karlsruhe

München 1963

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. H. van THIEL
Dekan: Prof. Dr. R. BACHMANN

Tag der mündlichen Prüfung: 22.10.1963

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	5
ÜBERLEGUNGEN ZUR PASSGENAUIGKEIT	8
DARSTELLUNG DES SCHRIFTTUMS UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER DURCHGEFÜHRTEN PHANTOM- VERSUCHE	11
Vorbereitung des Modellstumpfes	11
Das Wachs und seine Verarbeitung	12
Das Entspannen des Wachsmodells	15
Das "Entfetten" des Wachsmodells	16
Der Gusskanal	18
Die Gussmulde	18
Die Gussmuffel	19
Die Einbettmassen	22
Einbettungsverfahren	28
Wachsaustreibung	36
Das Trocknen und Vorwärmen der Muffel	37
Gussverzugszeit	38
Gussapparate	39
Die Behandlung der Muffel nach dem Guss	44
VORBEREITENDE MASSNAHMEN	46
VERSUCHSANORDNUNG	48
MESSUNGEN	55
I. Vorversuche	60
II. Hauptversuche	63
1. Teleskopkronen	63
2. Angusskronen	65

	Seite
DISKUSSION DER ERGEBNISSE	70
ZUSAMMENFASSUNG	81
LITERATURVERZEICHNIS	83
LEBENS LAUF	101

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Bei Durchsicht der Literatur, die sich mit dem Problem des zahnärztlichen Gussverfahrens beschäftigt, muss man zu der Erkenntnis kommen, dass wir zwar dem Ziele eines gut passenden Gusses recht nahe sind; andererseits aber beweisen neuere Arbeiten, und zum Teil lehrt es auch die Erfahrung, dass wir auf dem Gebiete der Gusstechnik immer wieder vor neuen Problemen und Aufgaben stehen.

In der älteren Literatur stösst man häufig auf die Begriffe: "exakt passend", "spaltlos", "kontraktionsfrei". Man kann diese Angaben wohl nur durch die Begeisterung erklären, mit der damals die neueingeführte Gusstechnik von den Praktikern aufgenommen wurde. Über den unendlich vielen Möglichkeiten, die durch die "neue" Technik erschlossen wurden, vergass man, die schon lange von der industriellen Gusstechnik bekannte Kontraktion des Metalles auch bei diesen kleindimensionierten Güssen, gebührend zu berücksichtigen. Wenngleich im Laufe der Zeit manche Praktiker sich an den Spalträumen zwischen Zahn und Gussmodell gestört haben, so dauerte es dennoch recht lange, bis man über die spekulativen Erfahrungen hinaus trat und die Problematik des zahnärztlichen Gusses exakt wissenschaftlich zu ergründen suchte.

1928 schreibt PROTHERO (134), dass das physikalische Verhalten der verwendeten Materialien beim Guss es unmöglich mache, fehlerfreie Inlays herzustellen; und FLAUMENHAFT (52) ist 1934 der Meinung, dass man zwar mit der grössten Genauigkeit untersucht, misst und rechnet, aber immer noch keine Methode gefunden worden ist, die es dem gewöhnlichen Praktiker ermöglicht, eine wirklich gute Einlage zu giessen.

Heute nach fast 30 Jahren stehen wir immer noch vor denselben Aufgaben; und schon allein die Tatsache, dass sich noch viele Autoren mit der zahnärztlichen Gusstechnik beschäftigen, deutet darauf hin, dass noch viele Unklarheiten über diese Technik und deren Hilfsmaterialien, wie Wachs, Einbettmasse und Gussmetall vorhanden sind.

Nach HEHRING (70) kann das Problem der zahnärztlichen Gusstechnik erst dann als ideal gelöst betrachtet werden, wenn es gelingt, ein Arbeitsverfahren zu entwickeln, bei dem mit absoluter Sicherheit Gussobjekte mit völlig glatter Oberfläche, absoluter Passgenauigkeit und den besten metallographischen Eigenschaften entstehen.

Wir möchten nicht die Behauptung aufstellen, dass der Herstellungsgang, den wir bei unseren Versuchen beschritten und erarbeitet haben, das Problem des zahnärztlichen Gusses löst; das Ziel unserer Arbeit ist vielmehr einen jener Wege, die zu einem guten Erfolg in der Guss- und Angusstechnik führen können, ausführlich zu beschreiben. Durch praktische Versuche wollten wir deutlich machen, welche oft nicht beachtete Arbeitsphasen oder "traditionelle, aber nicht bewiesene Selbstverständlichkeiten" (WANNENMACHER) sich als unvermutete Fehlerquellen bei der Herstellung eines Gussobjektes dem Praktiker entgegenstellen und wie sich eine Missachtung jener vielen Kleinigkeiten auf den Erfolg der Gussarbeiten auswirken kann.

In dem von MEYER veröffentlichten und von BONSACK (7) wiedergegebenen Schema werden mehr als 60 mögliche Fehlerquellen aufgeführt, die auf dem Wege vom Abdruck bis zum fertigen Gussobjekt dessen Passgenauigkeit beeinflussen können. Wenn diese Zahl auch momentan hoch erscheint, so ist sie keineswegs zu hoch gegriffen; vielmehr erklärt sie, wie kompliziert es ist, in der zahnärztlichen Gusstechnik zu einem guten Erfolg zu gelangen. In der Tat ist man berechtigt, von der Wissenschaft der zahnärztlichen Gusstechnik zu sprechen.

Viele Teilprobleme der Gusstechnik sind in einer grossen Anzahl umfangreicher wissenschaftlicher Untersuchungen geklärt worden. Doch bei der Durchsicht der wissenschaftlichen Literatur zeigt sich, dass nur allzuoft die Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren über gleichartige Probleme mitunter recht verschieden sind (HEHRING (70)). Diese Diskrepanz der Untersuchungsergebnisse lässt sich zweifellos auf die schon erwähnte Vielzahl von Fehlermöglichkeiten bei der Herstellung von Gussstücken zurückführen.

Das Ziel jeder wissenschaftlichen Arbeit, die sich mit dem Problem der zahnärztlichen Gusstechnik befasst, muss dementsprechend sein:

1. die grundlegenden physikalischen und chemischen Eigenschaften aller zur Anwendung kommenden Materialien zu kennen und zu berücksichtigen,
2. eine Technik zu entwickeln, die möglichst einfach in ihrer Handhabung ist, d.h. sowohl vom Erfahrenen als auch vom weniger Geübten in gleicher Weise ausgeführt werden kann;
3. die Arbeitsgänge weitgehend zu schematisieren, soweit dies im Rahmen des Labors möglich ist.

Die Ursachen des nicht einwandfreien Gusses sind zum grössten Teil dadurch bedingt, dass die Eigenschaften der Werkstoffe, vor allem deren Änderung mit der Temperatur nicht berücksichtigt werden;

bei genauer Kenntnis und sachgemässer Behandlung der verwendeten Materialien können viele Fehler ausgeglichen oder zumindest vermindert werden.

Wenn bei allen Untersuchungen eine gewisse Vereinfachung erforderlich ist, so sollte man trotz aller Schematisierung der Gusskörper solche wählen, die in ihren Dimensionen den Gussteilen der täglichen Praxis recht nahe kommen, denn aus vielen Arbeiten geht hervor, dass Gestalt und Abmessung einen wesentlichen Einfluss auf die Passgenauigkeit ausüben. Dennoch wäre es verfehlt, Inlays oder Kronen für die Praxis herzustellen und daraus irgendwelche Schlüsse zu ziehen, denn hierbei sind die Fehlerquellen vielfach unübersehbar, so dass die Versuche kein klares Bild ergeben können.

Nach dem ausführlichen Studium der Literatur war es unser Ziel ein Gussverfahren zusammenzustellen, welches jene vielen Teilergebnisse zahlreicher Autoren berücksichtigt, die im Laufe der Jahre gewonnen wurden, und sie mit den heutigen Möglichkeiten der Gusstechnik verbindet.

Auch die Angusstechnik als solche ist nicht neu; sie wurde vor allem in den 30iger Jahren durch die angussfähigen Palladium-Silber-Legierungen bekannt. Allerdings konnten wir in der Literatur keine Angaben finden, inwieweit der Ring einer Angusskrone deren Passgenauigkeit beeinflusst.

So rechtfertigt sich das gestellte Thema:

"GUSS- UND ANGUSSKRONEN
Untersuchungen über deren Passgenauigkeit
in Abhängigkeit vom Präparationswinkel"

ÜBERLEGUNGEN ZUR PASSGENAUIGKEIT

Wenn HEHRING (70) ein Arbeitsverfahren als ideal bezeichnet, mit dem man verschieden geformte Gussobjekte mit völlig glatter Oberfläche und absoluter Passgenauigkeit erzielen kann, so muss hierbei erwähnt werden, dass es eigentlich nicht darum geht, eine 100 % genaue Wiedergabe unseres Modells zu erhalten, sondern darum, dass unsere Gussfüllung nach dem Einzementieren im Munde einen genauen Sitz hat (LINDERMANN (108)). Auch die von PAFFENBARGER und VOLLAND (177) (nach SPANNER (160)) angegebenen tabellarischen Berechnungen von Expansion und Kontraktion der verschiedenen Materialien, die beim Gussverfahren Verwendung finden, haben nur beschränkten Wert, weil sie nur auf einen Ausgleich der Metallkontraktion abzielen. Der Begriff der Präzision im Zusammenhang mit Gusskronen oder Inlays kann nach DREYER-JØRGENSEN (35) am besten auf der Grundlage klinischer Untersuchungen erläutert werden. Er fordert, dass

1. kein sichtbarer Spalt zwischen Gussobjekt und Zahn vorhanden sein darf,
2. das Gussobjekt ohne Druck in die Kavität oder auf den Zahnstumpf gesetzt werden kann.

DREYER-JØRGENSEN gibt den eben noch sichtbaren Spalt mit 0,05 mm an.

Nach WEIKART (49 + 185) spielen beim Einfügen zahnärztlicher Gussobjekte Differenzen in den Abmessungen eine Rolle, die in der Technik der sog. "Passung" entsprechen. Nach den ISA-Normen ist Passung die allgemeine Bezeichnung für die Beziehung zwischen gefügten Teilen, die sich aus dem Massunterschied dieser Teile vor dem Fügen ergibt. Man unterscheidet Spiel-, Übergangs- und Presspassung.

Bei der Präparation eines Zahnes mit Bohrern oder Schleifkörpern können wir niemals glatte Wände erreichen, und wir müssen mit einer Rauhtiefe von mindestens 0,005 mm rechnen; unter Rauhtiefe versteht man den Unterschied zwischen den Erhebungen und Vertiefungen einer Oberfläche.

Wenn noch zusätzlich ein Isoliermittel mit einer Filmschicht von 0,002 bis 0,005 mm die Wände bedeckt, so erhalten wir einen Wachsabdruck, dessen Durchmesser wenigstens 0,015 mm kleiner (bei Inlays) bzw. grösser (bei MOD-Füllungen und Gusskappen) ist. Bei einem 100 %igen Ausgleich der Metallkontraktion würde das Gussobjekt nach den ISA-Normen mit einer Spielpassung den Zahnschubstanzen anliegen bei einer durchschnittlichen Spaltbreite von 0,007 bis 0,01 mm.

Da die meisten unserer Gussarbeiten einzementiert werden, müssen wir auch die Dicke der Zementschicht berücksichtigen; sie beträgt nach Messungen von WEIKART (49 + 185) und des MPA (Materialprüfungsausschuss) 0,02 bis 0,03 mm.

Daraus ergibt sich, dass ein Inlay oder eine Krone mit genau den gleichen Abmessungen wie die Kavität bzw. wie der Zahnstumpf klinisch garnicht brauchbar wäre. In einem Fall muss der Guss kleiner sein als die Kavität, im anderen Fall muss er grösser ausfallen.

Eine überaus instruktive Tabelle von WEIKART gibt an, welche Abweichungen in den Abmessungen klinisch brauchbare Inlays bzw. MOD-Füllungen und Gusskappen haben dürfen, wenn die Metallkontraktion mehr oder weniger vollkommen ausgeglichen wird. Daraus geht hervor, dass ein Inlay mit 3 mm Durchmesser ohne irgendwelchen Schwundausgleich des Metalles klinisch brauchbar ist, während dasselbe Inlay bei 70 % Kontraktionsausgleich klinisch nicht mehr verwertbar ist. MOD-Füllungen und Gusskappen erfordern nach WEIKART einen Kontraktionsausgleich von mindestens 120 %, d.h. praktisch brauchbare Gusskappen lassen sich nur mit Einbettmassen erzielen, deren Gesamtexpansion höher liegt als die Gusskontraktion der verwendeten Legierung.

Nicht minder erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang eine graphische Darstellung der Abhängigkeit zwischen dem Neigungswinkel eines Präparationsstumpfes und der Spaltbreite bei verschiedenen Graden der Gussungenauigkeit. Was DREYER-JØRGENSEN (35) in seinem Diagramm veranschaulicht hat, soll anhand eines Beispiels besprochen werden: Ein Inlay mit 6 mm Durchmesser weise eine Restkontraktion (nach SCHAEFFNER (142)) von 0,3 % auf. Bei einem Präparationswinkel von 5° ergibt sich aus den Berechnungen eine Spaltbreite von 0,103 mm; die Spaltbreite würde nur 0,016 mm betragen, wenn der Präparationswinkel 30° aufwiese und das Inlay die selben Schrumpfungswerte zeigte.

Diese von DREYER-JØRGENSEN aufgestellten Beziehungen sind nach TORFS (170) sehr kritisch zu bewerten und dieser gibt eine Formel an, bei der die Anforderungen an die Präzision erhöht werden.

Wie aus WEIKARTS Tabellen hervorgeht, ist die Herstellung klinisch brauchbarer zentraler Füllungen kein Problem; wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei Sattelfüllungen und Gusskronen.

HARNDT (69) erachtet Ringgüsse als das schärfste Kriterium für die Bewertung der einzelnen Gussmethoden, weil die geringste Kontraktion des Metalls das Aufsetzen des Gussstückes verhindern muss. Wie sich aber im Laufe unserer Untersuchungen herausgestellt hat, und später noch erwähnt wird, ist es unvorteilhaft, einen

Ringguss als Massstab für eine zahnärztliche Gussmethode zu wählen.

Wenn schon ein Drehkörper infolge seiner einfachen mathematischen Berechenbarkeit Verwendung finden soll, so kommt ein Kegelstumpf den klinischen Verhältnissen am nächsten. FUSAYAMA (55 + 56), HANSOHN (68), ILG (79-82), KLUMPP (93) u. a. haben ihren Messungen einen Kegelstumpf zugrunde gelegt. Allerdings sind die Abmessungen des Stumpfes bei den einzelnen Autoren verschieden, insbesondere differieren die Neigungswinkel beträchtlich. ILG's Präparationskörper weist einen Konvergenzwinkel von 12° auf, DREYER-JØRGENSEN bezeichnet bei Kronen einen Präparationswinkel von 15° bis 20° als angemessen im Hinblick auf die Abdrucknahme und das Aufzementieren. FUSAYAMA (56) entschied sich bei seinem Untersuchungsmodell für 5° Neigung.

Bei der Wahl unseres Präparationskörpers liessen wir uns von dem Gedanken leiten, dass der Reibungswiderstand zwischen Gussobjekt und einem zylindrischen Modellstumpf grösser ist als bei stark konischer Präparation. Aus der Darstellung von DREYER-JØRGENSEN geht hervor, dass mit abnehmendem Konvergenzwinkel eine grössere Gussgenauigkeit erforderlich wird. Aus diesen Erwägungen entschieden wir uns, konische Stahldrehkörper mit gleicher Grundfläche aber verschiedenen Konvergenzwinkeln zu unseren Versuchen heranzuziehen.

Weitere Überlegungen, die Angusskronen betreffend, müssen hier angeschlossen werden: Ein zylindrischer Kronenring auf einen konischen Stumpf aufgesetzt, kann diesem nur mit dem untersten Rand des Ringes längs einer Linie anliegen; der Reibungswiderstand zwischen Ring und Stumpf ist minimal. Das Ziel unserer Überlegungen war, einen grösseren Reibungswiderstand zu schaffen, wobei wir dennoch verschiedene Konvergenzwinkel in unsere Untersuchungen einbeziehen wollten, um einen Vergleich der Passgenauigkeit zwischen Guss- und Angusskronen anstellen zu können.

So entstand eine zweite Serie konischer Stahldrehkörper mit den entsprechenden Konvergenzwinkeln. Bei dieser Serie wurde jedoch der Fuss des Kegelstumpfes zylindrisch verlängert, um ein flächenförmiges Anliegen des Ringes zumindest in dessen untersten Bereich zu erreichen. Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Drehkörper folgt im Abschnitt "Vorbereitende Massnahmen".

In diesem Kapitel sollte dargelegt werden, dass es unzweckmässig wäre, irgendwelche Gussobjekte auf ihre Passgenauigkeit zu prüfen, wenn sie nicht so gestaltet sind, dass Ähnlichkeit mit klinisch brauchbaren Objekten vorliegt. Allerdings konnte auch in dieser Ar-

beit der Forderung WEIKARTS (186) nicht nachgegeben werden, dass die Prüfung auf Passgenauigkeit am einzementierten Objekt vorgenommen werden soll. Dennoch glauben wir, dass die vorliegende Arbeit zu einer weiteren Klärung des zahnärztlichen Gussproblems beiträgt.

Wie eingangs erwähnt, wurden bei der Festlegung der Versuchsanordnung die bisherigen Erfahrungen der Gusstechnik ausgewertet. Denn nur dann, wenn jeder Phase der Gussvorbereitung entscheidende Bedeutung beigemessen wird, ist es möglich, jeweils unter gleichen Bedingungen ausgeführte Gussobjekte miteinander zu vergleichen, zu messen und daraus Schlüsse zu ziehen. Der ermittelte Kontraktionswert der verschiedenen Gussobjekte ist dann die sog. "Restkontraktion" nach SCHAEFFNER (142), das ist der Teil der Gesamtkontraktion, der beim Gussverfahren nicht kompensiert wurde.

Im folgenden Abschnitt sollen die einzelnen Phasen des zahnärztlichen Gussproblems auf Grund der einschlägigen Literatur ausführlicher besprochen werden.

DARSTELLUNG DES SCHRIFTTUMS UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER DURCHGEFÜHRTEN PHANTOMVERSUCHE

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden die Wachsmodelle direkt auf einem Stahldrehkörper modelliert und das abgenommene Wachsojekt eingebettet und gegossen. Es kann deshalb auf eine Besprechung der Abdrucknahme und Modellherstellung verzichtet werden und wir verweisen u. a. auf ILG (78-83), KUFNER (99), STÜBEN (161), AHRENS (1), EFFINGER (39).

DIE VORBEREITUNG DES MODELLSTUMPFES

Bei der Isolierung von Kavitäten und Modellstümpfen ist vor allem darauf zu achten, dass sich das Isoliermittel dünn und gleichmässig auf der Oberfläche verteilt; dennoch ist mit einer Schichtdicke von 0,002 bis 0,005 mm zu rechnen (WEIKART (49 + 185). Von der Verwendung öligter Substanzen wird vielfach abgeraten, weil sie sich meistens nur in dicken Schichten auftragen lassen und vor

dem Einbetten vom Wachsmodeill wieder restlos entfernt werden müssen.

Bei der direkten Abdrucknahme im Munde des Patienten dürfte ein Speichelfilm zur Isolierung völlig ausreichen; für die indirekte Technik werden als Isoliermittel Iso C, Xynon und ähnliches empfohlen; bei unseren Versuchen kam Kerr Mikrofilm zur Verwendung.

DAS WACHS UND SEINE VERARBEITUNG

Das Wachs ist eines jener drei Hauptmaterialien, auf denen sich unser Gussverfahren aufbaut.

Unter dem Sammelbegriff "Wachs" werden verschiedenartige Produkte zusammengefasst, deren Herkunft und chemischer Aufbau recht unterschiedlich sind. Chemisch sind diese Stoffe den Estern höherer Fettsäuren mit einwertigen Alkoholen ähnlich, physikalisch kann man sie annähernd mit Fetten vergleichen (REHBERG (38 b) DOLDER (66 c)).

Das Gusswachs ist eine Wachskomposition, die zum Modellieren von Teilen benutzt wird, die in Metall gegossen werden sollen; es muss daher ohne Rückstände verbrennen; bei der Verarbeitung soll es gut plastisch sein, um exakte Abformungen zu ermöglichen; der Erweichungspunkt darf nicht zu hoch über der Körpertemperatur liegen und andererseits soll das Wachs bei Mundtemperatur so hart sein, dass beim Herausnehmen aus der Kavität eine Deformation verhindert werden kann. Ferner soll es im selben Temperaturbereich (bei Körpertemperatur) eine möglichst grosse Elastizität aufweisen, damit eine vielleicht unbemerkte Deformation beim Herausnehmen des Inlays durch elastische Rückfederung in die ursprüngliche Form wieder ausgeglichen wird. (REHBERG (38 b)). Ob man allerdings diese Elastizität eines Wachses als Vorteil oder Nachteil bezeichnen soll, wird später noch zu erörtern sein.

Weiterhin interessiert die Volumenveränderung des Gusswachses mit der Temperatur.

Für die Glätte der Oberfläche eines Gusses ist unter anderem der Verbrennungsrückstand des Wachses in der Form ausschlaggebend (FALCK (48)). Untersuchungen von NELKE (121) haben gezeigt, dass die Verbrennungsrückstände verschiedener Wachssorten nicht sehr gross sind und bei Bayer-Prepon, Kerr- und SS White-Gusswachsen unter 0,01 % liegen. BESIER (nach Nelke) gibt für die selben Wachssorten grössere Verbrennungsrückstände an, jedoch sind diese hohen

Werte, wie NELKE anführt, sicherlich auf einen verfahrenstechnischen Fehler zurückzuführen. Nach NELKE dürften diese äusserst kleinen Verbrennungsrückstände der Gusswachse für die Glätte der Guss Oberfläche kaum von Bedeutung sein.

Das Wachs soll plastisch sein: NELKE, der sich auch mit diesem Problem befasst hat, bestimmte die Brinellhärte verschiedener Gusswachse in Abhängigkeit von der Temperatur, um damit ein Mass für die niedrigsten Verarbeitungstemperaturen der einzelnen Wachse zu erhalten. Bei einer Brinellhärte von $0,01 \text{ kg/mm}^2$ beginnt die Verknietbarkeit eines Gusswachses, und dieser Zustand wird in letzter Zeit vielfach als Arbeitstemperatur bei der betreffenden Wachssorte angegeben. Diese Arbeitstemperatur bewegt sich je nach Fabrikat zwischen 41° und 49°C , und liegt durchschnittlich 12° bis 14°C unter dem jeweiligen Schmelzpunkt. Dabei wird die Forderung erfüllt, dass der Erweichungspunkt nicht allzu hoch über der Körpertemperatur liegt und dennoch das Wachs bei Mundtemperatur hart sein soll.

Die Volumenveränderungen des Wachses in Abhängigkeit von der Temperatur haben vor allem van HORN, PRICE, MEYER-MAVES, LASATER und viele andere untersucht. Sie alle stellten fest, dass die Ausdehnung bzw. Kontraktion sehr verschieden ist, je nachdem bis zu welchem Grade das Wachs erhitzt oder abgekühlt wird. Auch NELKE hat durch seine Untersuchungen verschiedene Volumenausdehnungskurven gewonnen, deren Steigung mit zunehmender Temperatur zunimmt und im Bereich der plastischen Verarbeitung des Wachses die grösste Steilheit aufweist; für die Abkühlung des Wachses verläuft die Kurve entsprechend. Wenngleich die Volumenabnahme des Wachses mit abnehmender Temperatur relativ geringer wird, so kann man dennoch aus den Werten, die NELKE festgestellt hat, für die gebräuchlichsten Gusswachse eine durchschnittliche lineare Abnahme von $0,05\%$ bis $0,07\%$ pro Grad C annehmen.

Aus dieser Verhältniszahl ergibt sich, dass es erstrebenswert ist, ein Wachs bei niedriger Temperatur zu verarbeiten, um die Kontraktion des Wachses möglichst gering zu halten. Wie sich aber leicht errechnen lässt, ist trotzdem mit einer Wachskontraktion zu rechnen, die grössenordnungsmässig der Goldkontraktion gleichkommt, so dass sich die Gesamtkontraktion (Wachs + Metall) im zahnärztlichen Gussverfahren ungefähr verdoppelt.

ELANDER⁷ (41 + 42) und JACOB (86) haben erkannt, dass das Verhalten des Gusswachses im höchsten Masse von der Verarbeitungstechnik abhängig ist; NELKE konnte beispielsweise nachweisen, dass bei kräftig durchgeknetetem Wachs eine merkliche Kontraktionsminderung festzustellen war.

Weiterhin fehlt es nicht an Untersuchungen, die den Kontraktionswert eines Wachses auf die unterschiedlichen Formen des Gussobjektes zurückführen.

Nach FALCK (48) ist die Elastizität des Wachses seine Fähigkeit nach Veränderung seiner Form die ursprüngliche Gestalt teilweise oder ganz wieder anzunehmen.

Während SCHUBERT (151) die Elastizität des Wachses für die zahnärztliche Technik als besonders störende Eigenschaft der Wachsorten empfindet, fordert REHBERG (38 b) von einem guten Inlaywachs bei Körpertemperatur möglichst gute elastische Eigenschaften, damit eine vielleicht unbemerkte Deformation wieder ausgeglichen werden kann.

Insbesondere PRICE (133) und SOLBRIG (159) haben die Folgen der Elastizität des Gusswachses demonstriert: Gedehte und zusammengedrückte Wachsstäbe behalten in abgekühltem Zustand zunächst die ihnen gegebene Gestalt, zeigen aber, wenn sie erwärmt werden, oder einige Zeit liegen bleiben, eine der ersten Einwirkung entgegengesetzte Formveränderung; also das Bestreben ihre frühere Gestalt wiederzugewinnen (HAN (67)). Für diese genannte Erscheinung bei der Wachsverarbeitung prägte SOLBRIG den Begriff der "latenten Elastizität" des Wachses.

Aus seinen Untersuchungen zieht SOLBRIG folgende Schlüsse: Das Kneten des Wachses sollte vor Einbringen in die Kavität vermieden werden, wie auch jeder starke Druck auf das Wachs schädlich ist. Dementsprechend fordert er, das Wachs in eine Kavität einzuschmelzen, da geschmolzenes Wachs bei zwangsfreier Abkühlung keine Elastizität aufweise.

Wenn wir die Untersuchungen insbesondere von SOLBRIG und NELKE (121) vergleichen, so stehen wir vor dem Zwiespalt ob die flüssige Wachsverarbeitung mit ihrer starken Kontraktionserscheinung oder die Verarbeitung des plastischen Wachses mit seiner Deformation das geringere Übel ist.

SOLBRIGS Untersuchungen vertrauend haben viele Autoren (COLMANN (11), SMREKER (158) und andere) die Verarbeitung des Wachses im flüssigen Zustand empfohlen, und diese Arbeitsmethodik dürfte wegen ihrer Einfachheit auch heute noch am häufigsten angewandt werden. Von anderer Seite wird bekannt, dass sie das Wachs verflüssigen, es aber bis zum Erkalten unter Druck setzen, um der starken Kontraktion entgegenzuwirken.

In neueren Untersuchungen hat PHILLIPS und BIGGS (85) festgestellt, dass

1. innere Spannungen nach jedem Formen von Wachs, auch nach einem Formen bei der höchsten Verarbeitungstemperatur entstehen und daher mit einem Verziehen immer gerechnet werden muss,
2. nach einem Formen bei ungleichmässiger Temperatur (z. B. Auf-tropfen von Wachs, Tauchen in Wachs) sich das stärkste Verziehen bemerkbar macht und ungleichmässiges Abkühlen zu Span-nungen führt, und dass
3. das Verziehen allmählich eintritt, wobei es bei tieferer Lager-temperatur geringer in Erscheinung tritt.

Diese Erkenntnisse fanden eine Bestätigung und Erweiterung in ausführlichen Untersuchungen von FUSAYAMA (56). Vier Modellier-methoden unter Verwendung zweier Wachssorten, des normalen Kerr-Inlay-Wachses und eines rosa Paraffinwachses, wurden verglichen. Aus den Untersuchungen hatte sich ergeben, dass die Presstechnik (press-molding) d. h. plastisches Wachs wird durch Druck geformt, die genauesten Resultate ergab. Weniger befriedigend war die Fluss-press-technik (flüssiges Wachs wird bis zum Erkalten unter Druck ge-halten), und die mit Abstand schlechtesten Resultate mit den grössten Kontraktionswerten erbrachte die Verarbeitung flüssigen Wachses in dem sehr häufig geübten Verfahren, flüssiges Wachs wiederholt aufzutragen oder das Modell in flüssiges Wachs zu tauchen.

Trotz der unterschiedlichen Kontraktionswerte in den verschie-denen Wachsverarbeitungstechniken hat sich gezeigt, dass mit rosa Paraffinwachs im Vergleich zu blauem Inlaywachs durchweg eine grössere Passgenauigkeit erzielt werden konnte. FUSAYAMA erklärt es dadurch, dass die Differenz zwischen Arbeitstemperatur des Wach-ses und Raumtemperatur bei Paraffinwachs geringer ist als bei In-laywachs; damit sind die Kontraktionswerte unterschiedlich und dem-entsprechend ist Paraffinwachs für die indirekte Technik empfehlens-wert.

Natürlich ist auch das von FUSAYAMA empfohlene plastisch un-ter Druck geformte Wachsmoell nicht frei von "latenter Elastizität", doch wie man die inneren Spannungen eines Wachsmoells zu beseiti-gen sucht, soll anschliessend besprochen werden.

DAS ENTSPANNEN DES WACHSMODELLS

Die Beobachtungen von PRICE (133) und SOLBRIG (159), dass selbst bei niederen Temperaturen (Raumtemperatur) sich die inneren Spannungen eines Wachsojektes lösen und dadurch Deformationen

auftreten können, machen es wünschenswert, die Spannungen vor dem Einbetten auszugleichen.

Eine weitgehende Entspannung des zu giessenden Wachsteils erfolgt bei der indirekten Technik auf dem Modell im Wasserbad von 30°C (KUBASCH (97)), 38°C (FUSAYAMA (56)), 43°C (SCHEFFLER (143)) während 10 min.

Allgemein lässt sich die richtige Entspannungstemperatur für die verschiedenen Wachssorten sehr leicht ermitteln, wie SPRENG angegeben hat, wenn man kleine Streifen aus Wachs schneidet, diese im Wasserbad verschiedene Temperaturen annehmen lässt und dann im Wasserbad zu Ringen biegt. Ist eine völlige Entspannung des Wachses eingetreten, so bleibt nach dem Biegen selbst beim Erwärmen oder Abkühlen des Wassers der Ring in der gegebenen Stellung. Da nur bei der indirekten Technik ein Entspannen des Wachsoberjektes auf dem Modell möglich ist, wird diese Technik von vielen Autoren (SCHUBERT (152), FUSAYAMA (55 + 56)) der direkten Wachsmodellherstellung vorgezogen. Aber trotz aller Vorsichtsmassnahmen besteht immer noch die Gefahr, dass beim Einbetten durch das Aufbringen der anders temperierten Einbettmasse eine Kontraktion eintritt und eine Deformation möglich wird; diese Nachteile können durch die Modellgussmethode zum Teil ausgeschaltet werden (KUFNER (99)).

Wie gross die Vorteile der indirekten Technik auch sein mögen, so gibt es dennoch viele Fälle, bei denen ein direktes Modellieren des Wachsoberjektes im Munde erforderlich wird. Da ein direktes Inlay beim Entspannen im Wasserbad seine inneren Spannungen verliert, dadurch aber eine Deformation eintreten kann, empfiehlt schon van HORN (76) einen Wachsabdruck von der Kavität zu nehmen, diesen im Wasserbad zu entspannen und mit neuaufgetragem Weichwachs nochmals Abdruck zu nehmen.

DAS "ENTFETTEN" DER OBERFLÄCHE DES WACHSMODELLS

Wie schon erwähnt, sind die Wachse in ihren physikalischen Eigenschaften in gewisser Weise den Fetten ähnlich und sie stossen wie diese Wasser ab. Um einen einwandfreien Guss und eine glatte Oberfläche zu bekommen, ist es nach WALTER (181) unerlässlich, dass die einzubettenden Wachsarbeiten mit einem Netzmittel behandelt werden. Man will dadurch erreichen, dass die mit Wasser angerührte Einbettmasse das Wachsmodell benetzt, d.h. sich ohne Lufteinschlüsse dicht an das Wachsmodell anschmiegt. Wenn man beim Einbettungsvorgang vielfach von "Entfetten" spricht, so ist diese Bezeichnung im Grunde genommen nicht völlig richtig!

Die sog. Entfettungsmittel können nach WALTER in zwei Gruppen eingeteilt werden:

1. echte Entfettungsmittel wie Alkohol, Spiritus, Chloroform, die in der Lage sind, Fette zu lösen;
2. Seifen und andere Netzmittel, wie Vacufilm (Kerr), Rei, Pril und dergleichen, die Fette nicht direkt lösen, aber zur Entfettung von oberflächlichen Fettschichten beitragen und ausserdem die Oberflächenspannung des Wassers stark herabsetzen.

Durch die echten Entfettungsmittel wird die Wachsoberfläche angeraut und die gute Benetzung der Einbettmasse ist durch die gesteigerten Adhäsionskräfte zwischen der aufgerauten Wachsoberfläche und dem Einbettmassen-Wasser-Gemisch bedingt (WALTER (181)). Beim "Entspannen" (Abwaschen) mit Alkohol, den man abdunsten lässt, verliert das Wachsmoell seinen Glanz; mikroskopisch kann man beobachten, dass die vorher glatte Oberfläche mit vielen, ausserordentlich kleinen, dicht beieinanderstehenden Löchern bedeckt ist (FISCHER (51)). Diese durch das Entfettungsmittel entstandenen Rauigkeiten der Wachsoberfläche werden sich auch im fertigen Guss zeigen; damit ist von vorneherein -auch bei der Vakuum einbettung- keine Gewähr für eine glatte Gussoberfläche gegeben. Ein weiterer Nachteil der Entfettungsmittel ist ihre leichte Verdunstbarkeit und die damit verbundene Temperaturerniedrigung durch Verdunstungskälte.

HAN (67) hat festgestellt, dass ein Wachsmoell bei der Alkoholverdunstung einem Temperaturgefälle von 20°C auf ca. 10°C ausgesetzt war, und dass zwangsläufig dadurch eine Kontraktion bzw. Deformation des Wachsmoells erfolgte.

Die Seifen und Netzmittel wirken nur indirekt entfettend und greifen die Wachsoberfläche wesentlich geringer an. Sie setzen die Grenzflächenspannung zwischen dem Wasser der Einbettmasse und der Wachsoberfläche herab und bewirken damit die gute Benetzung des Wachsmoells (WALTER (181)).

Untersuchungen von GRASSL (63) über die Brauchbarkeit von Netzmitteln lassen erkennen, dass bei der Verwendung von Vakufilm besonders gute Erfolge zu erzielen sind, während alle anderen Netzmittel als gleichwertig gut erachtet wurden.

Wenn dieses Kapitel etwas ausführlich besprochen wurde, so nur deshalb, weil die angeführten Gesichtspunkte leider nur allzuwenig berücksichtigt werden, und eine genaue Beachtung mit geringen Mitteln einen grossen Effekt erzielt, nämlich eine glatte Gussoberfläche.

DER GUSSKANAL

Da über das Anbringen der Gusskanäle und deren Abmessungen in der Literatur schon viel veröffentlicht worden ist, sollen die Probleme nur stichwortartig angedeutet werden.

Während früher die Verwendung von Büroklammern (Durchmesser ca. 0,8 mm) empfohlen wurde und sich diese Methode auch jetzt noch grosser Beliebtheit erfreut, so wählt man heute aus giesstechnischen Erwägungen einen Stiftdurchmesser von mindestens 1,5 mm. Bei diesen relativ dünnen Gussstiften ist als Ausgleich für die Metallschwindung ein "Verlorener Kopf" anzubringen, dessen Grösse vom Gussobjekt abhängig ist; das Anbringen eines solchen Schmelzreservoirs, wie es schon lange Zeit bei den Giessereibetrieben üblich ist, wurde erst um 1930 in die zahnärztliche Gusstechnik übernommen (FRITSCH (53), OETTINGER (126)). Bei Verwendung einer Schleuder mit getrennter Schmelzeinrichtung können dickere Gusskanäle verwendet werden, und damit entfällt das Anbringen eines verlorenen Kopfes. Im übrigen müssen die Gusskanäle so angebracht werden, dass die Schmelze

1. möglichst ohne Richtungsänderung in die Hohlform fliesen kann,
2. immer von dickeren Gussteilen zu dünneren fliesst,
3. beim Einfliessen in die Hohlform keine Einbettmassenteilchen absprengen kann.

Kurz erwähnt sei noch, dass die Lage der Gusskanäle die Passgenauigkeit (z. B. einer Vollgusskrone) beeinflusst. Auf Grund von Untersuchungen (DEGUSSA-Brief Nr. 30) konnte festgestellt werden, dass bei einer Vollgusskrone das Anbringen eines Gusskanals an der approximal-occlusalen Kante unter einem Winkel von 135° zur Einschubrichtung die besten Resultate ergab. Im übrigen sei verwiesen auf DEGUSSA-Briefe Nr. 22, 23, 24, 30, FALCK-WEIKART (49), WETTERSTRÖM (188), SCHMITT (147), BONSACK (7), KYSELOVA (101).

DIE GUSSMULDE

Dient der Gusstrichter gleichzeitig als Schmelzmulde, so ist dessen Öffnungswinkel von Wichtigkeit. Bei gleichbleibender Metallmenge ist durch einen kleinen Öffnungswinkel ein höherer Stand der Schmelze zu erreichen, als bei weit ausladenden Flächen der Gussmulde. Gemäss des hydrostatischen Paradoxons erhöht sich der Druck der Schmelze auf den Gusskanal mit abnehmendem Öffnungswinkel der Gussmulde bei gleichbleibender Metallmenge. Wenn auch

scheinbar durch den erhöhten Druck ein Ausfliessen der Hohlform begünstigt würde, so ist zu bedenken, dass ein gleichmässiges Erhitzen der Legierung bei spitzem Trichter schwierig ist und gleichzeitig die Gefahr besteht, dass durch vorzeitiges Einfliessen der Schmelze der Gusskanal verlegt werden kann (SCHMITT (147)).

Im allgemeinen werden Gusstrichterschablonen mit einem Öffnungswinkel von 100° bis 120° empfohlen; abweichend davon ist beim Schleuderguss mit getrennter Schmelzvorlage ein spitzere Gusstrichter empfehlenswert, während nach SPRENG (66 d) für den Dampfdruckguss eine halbkugelige Schmelzmulde vorteilhaft ist.

DIE GUSSMUFFEL

Bei der Verarbeitung der Einbettmassen ist, um deren Expansion zu ermöglichen, die Art des Gussringes von ausschlaggebender Bedeutung. PRICE (133), WEISS (nach Gerlach) und COSMANN (12-14) befassten sich schon Ende der zwanziger Jahre mit der Frage, ob ein metallener Gusszylinder das verschiedenartige Volumenverhalten der Einbettmassen beim Abbinden und Vorwärmen beeinflusst, und ob dadurch die Passgenauigkeit des Gussobjektes beeinträchtigt werden kann.

In einer Versuchsanordnung hatte SIONG HAN (67) einen wassergefüllten Operationsfingerling, der mit einem Kapillarrohr verbunden war, jeweils in einen gewöhnlichen Metallzylinder und unter gleichen Bedingungen in einen Papierzylinder eingebettet. SIONG HAN stellte fest, dass bei Papierzylindern die Wassersäule gefallen ist, d.h. es vergrösserte sich das Volumen des Hohlraumes. Bei Verwendung eines Metallzylinders hingegen, war ein Ansteigen der Wassersäule zu beobachten.

Auf Grund dieser und ähnlicher Beobachtungen war man allgemein bestrebt, die Expansion der Einbettmasse in keiner Weise zu behindern. Am leichtesten scheint dieses Problem gelöst durch die Verwendung eines Papierzylinders (HAN (67), DREYER-JØRGENSEN (35), KLUMPP (93), PRICE (133), WIESINGER (189)) oder einer Gummimanschette (FLAUMENHAFT (52), LEDNICZER (105), PEYTON (129)).

Untersuchungen die unlängst von KLUMPP (93) mit schematisierten Teleskopkronen und von BUCK (8) mit schematisierten MOD-Inlays gemacht worden sind, beweisen, dass mit dem muffellosen Gussverfahren im Vergleich mit anderen Methoden tatsächlich recht gute Erfolge zu erzielen sind. Wie gross die Erfolge mit diesen Me-

thoden auch sein mögen, so konnten sich diese Verfahren in der zahnärztlichen Gusstechnik dennoch nicht durchsetzen. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass durch die relativ geringen Festigkeitswerte vieler Einbettmassen, eine erhöhte Bruchgefahr möglich ist und man deshalb in vielen Laboratorien aus Gründen der Sicherheit viel lieber zu der traditionellen Gussmuffel greift.

FABIAN (45) glaubte in einer gefensterten Gussmuffel, wie sie auch VEST (176) empfohlen hat, eine Zwischenlösung gefunden zu haben. GEIER (57) hatte einen Schamottezylinder empfohlen und GERLACH (59 + 61) wollte mit einer zweigeteilten Muffel das Problem gelöst wissen. SCHUBERT (151/152) schlägt einen Metallring mit hoher thermischer Ausdehnung vor; DANZ (16) und RIGBERS (139) erachten den Ausdehnungskoeffizient einer Nickelmuffel für genügend hoch, um die thermischen Expansionsvorgänge der handelsüblichen Einbettmassen nicht zu behindern. Von van HORN (nach VACHUDA (174)) werden eingefettete konische Muffeln empfohlen, und besondere Beachtung verdient OETTINGER (127), der seine Gussmuffeln mit einer dicken Schicht technischer Vaseline auskleidet.

Damit sich die Expansion ohne Widerstand auswirken kann, empfahl man in Amerika schon 1927, die Muffel mit einer Asbestschicht auszukleiden; die Priorität der Verwendung des Asbests geht auf das Bureau of Standards in Washington zurück. Aus einer Publikation von TAYLOR und Mitarbeitern (167) geht hervor, dass sie die Asbesteinlage für die thermische Expansion empfohlen haben, die Abbindeexpansion blieb bei ihnen noch unberücksichtigt.

Als man die Vorzüge cristobalithaltiger Einbettmassen erkannte, verbreitete sich damit auch die Anwendung des Asbestpapiers, zumal das Kerr-Verfahren die Auskleidung des Gussringes mit Asbest als *conditio sine qua non* propagierte. In vielen Untersuchungen (ENDELL (43), COSMANN (12-14), APPEL (3), SINGER (156), OESCHGER (125) und andere) konnte durch die Asbestauskleidung eine wesentlich geringere Restkontraktion festgestellt werden.

Doch bald machte man sich darüber Gedanken, ob sich die Wasseraufnahme des angefeuchteten Asbestpapiers oder die Wasseraufnahme des trockenen Asbestpapiers auf die Expansion der Einbettmasse auswirke. APPEL nimmt an, dass die günstige Wirkung der Asbesteinlage dadurch zu erklären ist, dass sie zum Teil das Anrührwasser aufsaugt und durch den Wasserentzug eine erhöhte thermische Expansion der Einbettmasse verursacht.

MOORE (117) nach FEINMANN) und FUSAYAMA (56) stellen fest, dass bei feuchtem Asbestpapier der Wert der Abbindeexpansion wesentlich erhöht würde und dieser Betrag weitgehend einer hygroskopischen Expansion zuzuschreiben sei.

DREYER-JØRGENSEN ist der Meinung, dass der Grad des Anfeuchtens von untergeordneter Bedeutung ist, wohingegen der Abstand des Asbeststreifens vom Muffelrand einen beträchtlichen Einfluss auf die Grösse der Expansion bewirkt. Wenn dieser Abstand 3 mm überschreite, so habe die Asbesteinlage keinen Einfluss auf die Expansionserscheinungen. Weiterhin rechnet DREYER-JØRGENSEN mit einer Pseudokontraktion, wenn das Asbestpapier dem Ring zu eng angelegt wird. Er kommt dann zu dem Schluss, dass eine genormte Asbestauslegetechnik in der gewöhnlichen Praxis nicht durchführbar ist, und da in jedem Fall sehr ungleiche Expansionswerte in den verschiedenen Richtungen des Ringes befürchtet werden müssen, ist nach DREYER JØRGENSEN die Asbeststringmethode a priori als weniger genau anzusehen.

DREYER-JØRGENSEN goss bei seinen Versuchen MOD-Inlays in asbestausgekleidete Muffeln, die mit Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment gefüllt waren. Die Inlays zeigten ziemlich grosse Unterschiede in der Gusspräzision; in der Regel konnten sie nur mit grossem Druckaufwand in die Kavität eingebracht werden.

DREYER-JØRGENSEN, der die Papiermuffeleinbettung und die Ausnützung der hygroskopischen Expansion empfiehlt, steht mit seinen Erfahrungen in krassem Gegensatz zu FUSAYAMA, der nach wie vor die Verwendung der asbestausgekleideten Muffel vorschlägt und mit gewissem Recht, gegen die Anwendung der hygroskopischen Expansion argumentiert; darüber wird später noch ausführlicher zu berichten sein. Nach FUSAYAMA kann die Verzerrung eines Gussobjektes auf die hygroskopische Wirkung der feuchten Asbesteinlage zurückgeführt werden; er beseitigt diese Fehlerquelle dadurch, dass er die trockene Asbesteinlage mit Cacaobutter einfettet. Mit dieser Massnahme konnte eine wasserentziehende oder wasserabgebende Wirkung des Asbestpapiers ausgeschlossen werden.

Über die Schichtdicke der Asbestauskleidung sind die Meinungen geteilt; am häufigsten wird eine Mindestdicke von 1 mm gefordert.

Wenn WEISS (187) und andere statt Asbest zur Auskleidung der Muffel Krepp- oder Löschpapier empfohlen haben, so sehen wir darin keinen Unterschied.

DIE EINBETTMASSEN

Vergleicht man die Resultate der meisten Autoren, so kann man feststellen, dass die Hauptkompensationsmöglichkeiten der Metallkontraktion auf dem Gebiete der Einbettmassen und ihrer Verarbeitung gesucht werden müssen (OESCHGER (125)). Wenngleich in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten das Problem der zahnärztlichen Gusstechnik mit Hilfe verschiedener Einbettmassen und ihrer Verarbeitung zu lösen versucht wurde, so zeigt sich hierbei im besonderen, wie unterschiedlich die Ergebnisse des selben Problems von verschiedenen Forschern angegeben werden.

Als Einbettmassen bezeichnet man Gipsgemische, deren einer Bestandteil Gips als Bindemittel ist, der andere oder die anderen feuerfesten Stoffe wie Asbest, Schamotte, Kaolin, Quarz usw. sein können (FALCK (48)). Die Einbettmassen dienen entweder zur Einbettung von metallischen Werkstoffen, die gelötet werden, oder zur Herstellung von feuerfesten Gussformen für Metallguss. (VEST (176)). Während die Löteinbettmassen beim Lötprozess eine weitgehende Volumenkonstanz aufweisen sollen, fällt den Expansionseinbettmassen die wichtige Aufgabe zu, die Gusskontraktion der zahnärztlichen Legierungen zu kompensieren.

SCHOENBECK (149) hat 1931 zur Herstellung von Einbettmassen eine Mischung von Gips und Hohenboeckaer Sand im Verhältnis 1 : 2 empfohlen. Heutzutage verwenden wir handelsübliche Einbettmassen, deren Zusammensetzung weitgehend Fabrikgeheimnis ist. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Einbettmassen haben insbesondere ENDRES (44), ENDELL (43), SCHUBERT (150-152), SCHOENBECK (149), PRICE und andere untersucht.

Grundsätzlich unterscheidet man nach der ADA-Spezifikation Nr. 2 cristobalithaltige Einbettmassen (z. B. Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment) und quarzhaltige Einbettmassen (z. B. Bayer-Duroterm), die jeweils typische Expansionskurven aufweisen. Cristobalithaltige Einbettmassen zeigen durchschnittlich eine grosse Wärmeexpansion, die Abbindeexpansion ist meistens gering. Da mit quarzhaltigen Einbettmassen keine ausreichende Wärmeexpansion zum Kontraktionsausgleich der Gusslegierungen zu erreichen ist, muss man bei diesen Einbettmassen eine relativ hohe Abbindeexpansion fordern.

Die Abbindeexpansion wird vor allem durch den Gipsgehalt der Einbettmasse bestimmt, jedoch können Zusätze wie Wasser (Hygroskopische Expansion nach SCHEU (144/145)), Acetate und Sulfate (LYON und Mitarbeiter (113)), die Volumenänderung des Gipses wesentlich beeinflussen; und auch die Art und Dauer des Anrührens kann einen Einfluss auf die Abbindeexpansion der Einbettmasse ausüben (FEINMANN (50)).

Die thermische Expansion wird vor allem durch den Anteil an Kieselerde (Quarz, Tridymit und Cristobalite) bestimmt, aber auch diese Expansionsart kann durch geringe Zusätze wie Chloride massgeblich beeinflusst werden; und nicht zuletzt ist die Wärmeausdehnung von der Dichte der Masse abhängig (Wasser/Pulver-Verhältnis, Zentrifuge, Schichtkern, Vakuumeinbettung).

Nach DREYER-JØRGENSEN ist der Expansionswert letzten Endes von der Messtechnik abhängig; demzufolge ist es angebracht, alle Angaben über die Expansion einer Einbettmasse als relative Werte anzusehen. Allerdings können die unterschiedlichen Angaben über Expansionswerte auch auf Abweichungen in der Herstellung der Massen zurückgeführt werden. HEHRING (70) hat bei seinen Untersuchungen feststellen müssen, dass verschiedene Lieferungen von Duroterm jeweils andere Messergebnisse erbracht haben.

Für unsere Untersuchungen wurden die Einbettmassen BAYER-Duroterm normal und KERR-Cristobalite-Inlay-Investment ausgewählt, weil sich die Untersuchungen auf dem Gebiete der Präzisionstechnik vorzugsweise mit diesen Massen auseinandergesetzt haben.

Duroterm ist eine quarzhaltige Einbettmasse, die im Vergleich mit vielen anderen Einbettmassen sich durch einen relativ hohen hygrokopischen Expansionswert auszeichnet. Sie wird in Deutschland von zahlreichen Praktikern verwendet und ist in vielen Kliniken und Labors gebräuchlich; nicht zuletzt deshalb, weil sie im Vergleich mit anderen Massen recht preiswert erscheint.

Wie schon erwähnt, ist die Festlegung der Expansionswerte wesentlich von der Messmethodik abhängig und dementsprechend werden auch unterschiedliche Angaben zu erwarten sein.

BAYER- Duroterm-normal (W:P 10:28)	Abbinde- expansion in %	Thermische Expansion in %		
		600°	700°	800°
Schubert + Klode (1933)	0,8		0,65	
nach Schubert (1937)	0,7 - 0,9	0,33	0,65	0,65
nach Appel (1938)	0,9	0,7	0,7	0,7
Hersteller (1939) aus Diagramm ent- nommen (n. Ilg)	0,9	0,37	0,65	0,73
aus Diagramm nach Dreyer-Jørgensen entnommen (1953)	0,68	0,58	0,63	0,68
nach Dolder (1955)	0,85			0,65
Herstellerfirma nach Lindermann (W:P 10:29) (1957)	0,75		0,75	
Herstellerfirma der Klinik zur Verfügung gestellt (W:P 10:29) (1962)	0,7	0,81	0,85	0,86
siehe Abbildung 1				

TABELLE 1

In der amerikanischen Einbettmasse Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment haben wir eine thermisch hochexpandierende Masse. Diese Einbettmasse ist anfangs der dreissiger Jahre in der europäischen Literatur eingehend geprüft und besprochen worden, hat sich aber trotz der anerkannt guten Eigenschaften bis heute nicht durchsetzen können; der Grund ist nach OEHRLEIN (124) sicherlich darin zu suchen, dass diese Einbettmasse im Preise sehr hoch ist.

Durch polymorphe (allotrope) Umwandlungsvorgänge des Cristobalit im Temperaturbereich von 200°C bis 275°C erreicht die Einbettmasse nach einer rasch zunehmenden Dehnung schon bei 300°C ihr Maximum an Expansion, das sie im Temperaturbereich bis 900°C mit unwesentlichen Schwankungen beibehält. Cristobalithaltige Einbettmassen sind bei höheren Temperaturen durch einen waagrechten Expansionskurvenverlauf gekennzeichnet, der es in einem grossen Temperaturbereich möglich macht, in eine weitgehend expandierte Form zu giessen.

Für Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment werden folgende Expansionswerte angegeben:

KERR-Cristobalite Inlay-Investment (W:P 10:25)	Abbinde- expansion in %	Thermische Expansion in %
nach Wachuda (1933)	0,36	bei 700° 1,37
Schubert (1937)	0,35-0,40	von 300° bis 900° 1,2 - 1,3
Dreyer-Jørgensen aus Diagramm ent- nommen (1953)	0,48	von 500° bis 800° 1,00- 1,07
nach Appel (1938)	0,19	bei 600° 1,45
Dolder (1955)	0,35	bei 800° 1,25
Herstellerfirma (1962)	0,31	siehe Abbildung 1

TABELLE 2

Wenn wir die Expansionswerte von Einbettmassen kritisch betrachten, so müssen wir uns darüber im Klaren sein, dass sich die Einbettmasse in der Zeit vom Herausnehmen der Muffel aus dem Vorwärmofen bis zum Moment des Giessens, d. h. während der Gussverzugszeit (nach UHLIG) abkühlt. Über die Dauer und den zu erwartenden Temperaturabfall wird an anderer Stelle berichtet.

Obwohl sich also der Guss auf der Abkühlungskurve der Einbettmasse vollzieht und aus ihr unmittelbar abzulesen wäre, welche Vorwärmtemperatur für das jeweilige Gussverfahren die günstigsten Ergebnisse erwarten liesse, werden die Abkühlungskurven den Einbettmassen im allgemeinen nicht beigegeben.

Der Gusserfolg ist zwar durch die Höhe des Expansionswertes bedingt, diese hohe Expansion kann aber nur dann ausgenützt werden, wenn die Abkühlungskurve nicht steil abfällt. Somit ist der Wert einer Einbettmasse nicht nur nach dem Wärmeverhalten beim Erhitzen bestimmt, sondern es ist dabei ganz besonders der Verlauf der Abkühlungskurve der Masse massgebend (GERLACH (61)). Die Darstellung der Abkühlungskurven verschiedener Einbettmassen sind sehr unterschiedlich (ENDELL und HOFMANN (43), COSMANN (12-14), DREYER-JØRGENSEN (35)). Dennoch kann man entnehmen, dass cristobalithaltige Einbettmassen einen günstigeren Verlauf der Abkühlungskurven aufweisen. Selbst wenn die Masse zur Zeit des Giessens von 700° auf 500°C abgekühlt sein sollte, muss z. B. bei Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment nur mit einem Expansionsverlust von ca. 0,15 % gerechnet werden, während Bayer-Duroterm-normal beim selben Temperaturgefälle ca. 0,4 % der thermischen Expansion einbüsst (nach DREYER-JØRGENSEN). Auf Grund dieser Überlegungen, im besonderen bei

Anwendung des offenen Schmelzverfahrens, schliessen wir uns GERLACH (61) an, dass Cristobalite in hohem Masse befähigt ist, der Lösung der Kompensationsaufgabe nahe zu kommen.

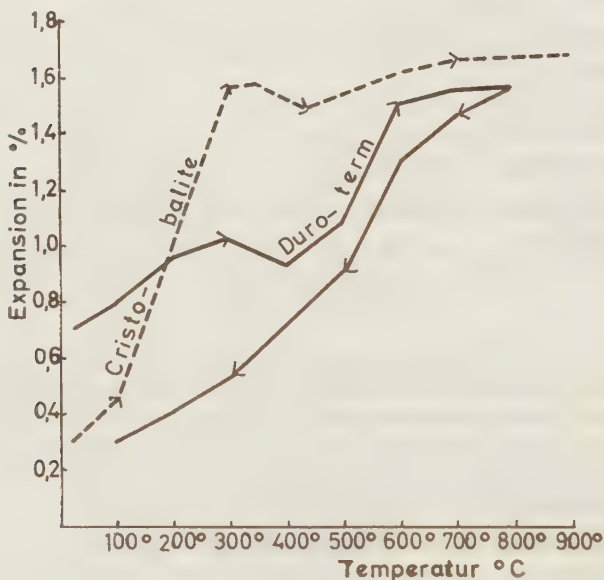


ABBILDUNG 1

Graphische Darstellung der Gesamtexpansion der Einbettmassen:
Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment,
Bayer-Duroterm-normal.

Abbildung 1 stellt die Erwärmungs- und Abkühlungskurven der in unseren Untersuchungen verwendeten Einbettmassen dar. In unserem Diagramm wurde zur Vereinfachung angenommen, wie es auch in vielen Einbettmassenprospekten angegeben wird, dass sich der thermische Expansionswert dem Abbindeexpansionswert auflagert und so die Gesamtexpansion ergibt. Ob in praktischen Versuchen die Gesamtexpansion einer Einbettmasse sich aus der Summe von Abbindeexpansion und thermischer Expansion ergibt, muss nach unseren Ergebnissen sehr in Frage gestellt werden; es wäre anzunehmen, dass insbesondere eine hohe Abbindeexpansion während der Vorwärmung der Muffel teilweise verloren geht.

Die Expansions- bzw. Kontraktionskurve von Bayer-Duroterm-normal (Wasser : Pulver 30 : 87) wurde unserer Klinik von der Herstellerfirma freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Expansionskurve von Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment (Wasser : Pulver 40 : 100) erhielten wir ebenfalls von der Herstellerfirma; leider konnten wir keine Abkühlungskurve erhalten.

Die Übereinstimmung der linearen Dehnung der Masse mit dem Kontraktionswert der Gusslegierung ist zwar wünschenswert, sagt aber gar nichts darüber aus, ob die Hohlform bei ihrer Expansion dem Modell ähnlich bleibt. Ob sich das gegossene Gut ebenso verhältnismässig in seiner Form verkleinert, ist ein anderes Kapitel (SPANNER (160)).

Durch eine grosse Anzahl von Untersuchungen muss es als erwiesen gelten, dass jede Gussform verzerrt wiedergegeben wird. Insbesondere die starre Gussmuffel begünstigt eine Verzerrung, indem das Gussobjekt in seinen Dimensionen, die quer zur Gussmuffel eingebettet sind, eine grössere Restkontraktion aufweist, als in seinen Abmessungen, die längs zum Gusszylinder verlaufen (RAU (135)). Diese ungleichmässigen Kontraktionswerte des Gussobjektes sind nach KNISCHEWSKI (95) auch darauf zurückzuführen, dass die expandierende Einbettmasse an den Muffelwänden festen Widerstand findet; sie wird überall dort hingelenkt, wo geringerer Widerstand vorliegt; das ist der Muffelboden, die Eingiessmulde und nicht zuletzt die Räume des Gusskanals und der Hohlform. Eine solche unerwünschte Auswirkung der Expansion bezeichnet KNISCHEWSKI als "Pseudokontraktion". Aber auch bei Verwendung einer asbestausgekleideten Muffel oder eines Papier- bzw. Gummizylinders sind Verzerrungen nicht ausgeschlossen (FUSAYAMA (55/56), KLUMPP (93), ROHRBACH (140), HARNDT (69), VACHUDA (174)).

Die Deformationen des Wachsmodells, der Einfluss der Abbindeexpansion, insbesondere der hygrokopischen Expansion, die Lage des Gussobjektes in der Muffel, das Verhältnis von Wachsmodellgrösse zu Gussmuffelgrösse, schliesslich die eigentliche Form des Gussobjektes, das Anbringen der Gusskanäle, die ungleichmässige Erwärmung im Vorwärmeofen und beim Schmelzen in der Schmelzmulde und noch viele andere Faktoren machen es unmöglich, ein Gussobjekt ohne Verzerrungen herzustellen.

Wie aber schon eingangs erwähnt, wollen wir vom klinischen Standpunkt aus keine absolute Kompensation der Gusskontraktion, vielmehr ein Gussobjekt, dass nach dem Einzementieren einen guten Randschluss aufweist; oder bei teleskopierenden Gussarbeiten spaltlos einzufügen ist. Wenn nun die gussmässige Wiedergabe eine gewisse Veränderung der Gestalt aufweist, so ist die Frage nur dahingehend zu beantworten, in welchen Dimensionen sich diese Verzerrun-

gen darstellen, und ob die gegossenen Objekte klinisch noch verwertbar sind.

Das Wissen um die Ursachen der Verzerrungen ermöglicht uns keineswegs alle störenden Faktoren auszugleichen, aber zweifellos lassen sich viele Fehlerquellen durch überlegte Arbeitsweise vermeiden; und schon damit sind wir dem Ziele der "klinischen Präzisionstechnik" wesentlich näher gekommen.

DIE EINBETTUNGSVERFAHREN

Die Einbettungsverfahren kann man in 3 Gruppen einteilen:

- I. Methoden zur Erhöhung der Abbindeexpansion mittels Wasserzusätzen
 1. Hygroskopische Einbettung
 2. Einbettung mit kontrollierter Wasserzugabe
 3. Semihygroskopische Einbettung.
- II. Methoden der Verdichtung der Einbettmassen
 1. Zweizeitige Einbettung (Kerneinbettung)
 2. Einbettung mittels Zentrifuge
 3. Einbettung im Vakuum.
- III. Methoden die Wärmeexpansion des Waxes ausnützend.
 - I. Untersuchungen von DREYER-JØRGENSEN (34-36), COSMANN (12-14), MUMFORD und PHILLIPS (118) und FUSAYAMA (56) stimmen darin überein, dass die Abbindeexpansion der Einbettmasse eine unterschiedliche Vergrösserung, d.h. eine Verzerrung des späteren Gussobjektes bewirkt. Während nun DREYER-JØRGENSEN die hygroskopische Einbettung (eine Methode zur Erzielung besonders hoher Abbindeexpansionswerte) empfiehlt, und der Verzerrung keine nennenswerte Bedeutung beimisst, konnten insbesondere FUSAYAMA aber auch MUMFORD und PHILLIPS nachweisen, dass mit steigenden Abbindeexpansionswerten die Verzerrung eines Gussobjektes zunimmt und wir bei der hygroskopischen Methode mit grossen Deformationen rechnen müssen.

FUSAYAMA (56) begründet diese Erkenntnis dadurch, dass: wenn die Einbettmasse mehr als die Wachsform expandiert, die steife Wachsform der abbindenden Einbettmasse ein wenig Widerstand leistet und somit Gelegenheit zu Verzerrungen bietet. Natürlich wird eine solche Abweichung umso grösser, je höher die Abbindeexpansion der Einbettmasse ist. Auf Grund dieser Erwägungen lehnt er hohe Abbindeexpansionswerte ab und fordert eine

Abbindeexpansion, die so gering sein muss, wie die Wachsexpansion, die durch die freiwerdende Abbindewärme der Einbettmasse verursacht wird. DREYER-JØRGENSEN gibt die Abbindewärme für Duroterm mit 5°C an, bei Cristobalite-Inlay-Investment soll sie 1°C betragen.

FUSAYAMA konnte nachweisen, dass mit einer Einbettmasse von 0,02 % Abbindeexpansion nur minimale Verzerrungen an Gussobjekten eingetreten sind, und er fordert deshalb eine Abbindeexpansion, die 0,05 % nicht übersteigt.

1. Die Hygroskopische Expansion kann als besondere Form der Abbindeexpansion angesehen werden. Sie beruht auf der Tatsache, dass die angerührte Einbettmasse während des Abbindevorgangs eine zusätzliche Wassermenge aufnehmen kann und diese Hydratation (Wasserbindung) eine Erhöhung der Abbindeexpansion bewirkt.

In der Annahme, die erhöhte Passgenauigkeit sei der Expansion des Wachses zuzuschreiben, hat schon van HORN unbewusst die Ausnützung der sog. Hygroskopischen Expansion proklamiert. 1932 berichtet SCHEU (144/145) auf Grund seiner Beobachtungen beim Betonieren, über das eigenartige Verhalten von Einbettmassen, die unmittelbar nach dem Abbinden, in lauwarmes Wasser eingesetzt werden. Mit diesem Einbettungsverfahren, das es theoretisch möglich macht, auf die thermische Expansion der Einbettmasse zu verzichten, haben sich nach SCHEU vor allem DEGNI (17), DOCKING (31), LANDGREEN (102), PEYTON (102 + 129), DREYER-JØRGENSEN (35), FUSAYAMA (55/56), HÖFER (72) und andere beschäftigt. Auch heute wird diesem Verfahren noch grosse Bedeutung beigemessen, wenngleich die Auffassung über den Wert der hygroskopischen Expansion recht unterschiedlich sind. Aus vergleichenden Untersuchungen mit eingebetteten Wachs- und Stahlkörpern zur Überprüfung der hygroskopischen Expansionsvorgänge, folgern HEHRING (70) und BEECK (6), dass die relativ guten Expansionswerte dieser Methode durch eine Wachsexpansion vorgetäuscht würden; eine Wachsexpansion und damit auch das hygroskopische Verfahren seien jedoch infolge der unregelmässigen Expansionserscheinungen abzulehnen.

In der Regel wird die Gesamtexpansion einer Einbettmasse aus der Summe von Abbinde- und Wärmeexpansion errechnet. Eine wesentliche Erhöhung der Abbindeexpansion, wie es die hygroskopische Methode darstellt, kann nur durch Wasserzusatz erreicht werden. Die Anwesenheit von überschüssigem Wasser erhöht aber die Kontraktion beim Erhitzen (GERLACH (58-61)). Ein Wasserüberschuss von 40 % kann nach GERLACH den Expansionswert

um 67 % senken. Die Feststellung, dass die hygroskopische Methode keine besseren sondern zum Teil sogar schlechtere Expansionswerte ergibt, als für andere Einbettmethoden festgestellt wurde, findet in vielen Untersuchungen ihre Bestätigung. (FUSAYAMA (55/56), HEHRING (70), LINDERMAN (108), MUMFORD und PHILLIPS (118)).

MUMFORD und PHILLIPS konnten nachweisen, dass bei dieser Methode eine erhebliche Einbusse der Expansion an den offenen Enden des Gusszylinders eintritt; sie wird durch die Verdünnung der Einbettmasse mit Wasser erklärt. Nach Untersuchungen von FUSAYAMA wird eine MOD-Füllung durch dieses Verfahren nicht nur stark deformiert unter Öffnung der beiden Flügel, sondern es tritt auch eine Kontraktion ein.

Somit darf angenommen werden, dass der Wert der hygroskopischen Expansion bei der Erwärmung weitgehend verloren geht und mit einer Deformation und Kontraktion des Gussobjektes zu rechnen ist.

Wenn DREYER-JØRGENSEN in seinen eingehenden Untersuchungen mit der hygroskopischen Einbettung, Gussobjekte hoher Präzision erreicht, so ist uns die Diskrepanz zu den Untersuchungsberichten vieler anderer Forscher unerklärlich.

Als Sonderformen der hygroskopischen Expansion müssen die Methoden der kontrollierten Wasserzugabe und die sog. semihygroskopische Expansion erwähnt werden.

2. Die Methode der kontrollierten Wasserzugabe (PEYTON (129))
geht davon aus, dass das Eintauchen der Muffel in ein Wasserbad durch unregelmässige Wasseraufnahme, Schwankungen in den Versuchsergebnissen hervorrufen kann. Durch einen definierten Wasserzusatz (ca. 1 ccm) der unmittelbar nach dem Einfüllen in eine Gummikvete, der Einbettmasse aufgespritzt wird, soll dieser Nachteil vermieden werden. Wenngleich man mit farbigen Wasserzusätzen zu beweisen versucht hat, dass der Wasserzusatz nicht durch die ganze Muffel hindurchdiffundiert, so sind nach eigenen Untersuchungen mit diesem allerdings komplizierten Verfahren unter Verwendung der Einbettmasse (Aquaskopic" recht gute Erfolge erzielt worden.

(In der vorliegenden Arbeit konnte diese Masse nicht zu Vergleichsversuchen herangezogen werden, weil die geforderte Vorwärmtemperatur von 450°C für das Angussverfahren zu niedrig ist.)

3. Der Begriff der "semihygroskopischen Einbettung" besagt, dass das angefeuchtete Asbestpapier in der Muffel die Einbettmasse im Sinne einer hygroskopischen Expansion beeinflusst

(SCHEU (144/145), DREYER-JØRGENSEN (20-22), FUSAYAMA (56)).

Zur Beseitigung der hygroskopischen Nebenwirkung verwendet FUSAYAMA eingefettetes Asbestpapier und beweist in umfangreichen Untersuchungen, dass mit dieser Methode der Grad der Gussverzerrung geringer wird.

Bei der ersten Gruppe der Einbettungsverfahren ist die Hauptkompensation durch die Kaltexpansion bedingt; dieser lagert sich beim Vorwärmen die thermische Expansion der Masse auf, die allerdings geringer ist als sonst üblich (TAEGER (164)).

- II. Die zweite Gruppe der Verfahren, die im folgenden besprochen wird, versucht durch verschiedene Methoden der Einbettmassenverdichtung vor allem die Wärmedehnung zu erhöhen.

1. Die zweizeitige Einbettung ist ein Verfahren, bei dem das Gussobjekt mit mehreren Schichten Einbettmasse die jeweils durch Aufstäuben von Einbettmassepulver verdichtet werden, umgeben wird.

Das Bestreben muss hierbei dahin gehen, den Kern so fest als möglich zu machen, d.h. die festen Bestandteile müssen ganz aneinander zu liegen kommen. (JANKE (88)). Nach dem Abbinden des sog. Kernes wird dieser in einem zweiten Arbeitsgang in eine Muffel eingebettet.

Bei der Herstellung des Kernes unterscheidet man einen Rundkern von einem Innenkern oder Schichtkern. Beim Rundkern, im "Kerr-Verfahren" propagiert, wird das Gussobjekt völlig mit Einbettmasse umgeben. Beim Innenkern, der von WIESINGER (189) und später von JANKE (88) angegeben wird, befinden sich die verdichteten Einbettmassenschichten nur an den Flächen, die später dem Zahn anliegen. Durch das Verdichten des Kernes, d.h. durch den Wasserentzug der Einbettmasse, will man eine Steigerung der Abbindeexpansion und vor allem der Wärmedehnung erreichen; ausserdem können bei diesem Verfahren die Abbindevorgänge ohne irgendwelche Behinderung durch Muffelmaterialeien und dergleichen vonstatten gehen.

Untersuchungen von KLUMPP (93) haben gezeigt, dass bei Gusskappen das Schichtkernverfahren der Rundkerneinbettung vorzuziehen ist. Allerdings konnten die Gusskappen mit der Schichtkernmethode unter Verwendung von Papierzylindern keinen exakten Sitz auf den Stahldrehkörpern aufweisen. Wenn KÖNIGSEN (96) auf Grund seiner vergleichenden Untersuchungen über Vakuum-,

Zentrifugalkraft- und Schichtkerneinbettung, dem Schichtkernverfahren das Wort redet, und dabei annimmt, dass es erst mit diesem Verfahren möglich sei, Gussringe bzw. Gusskappen herzustellen, die ohne Nacharbeit auf ihr Modell passen, so müssen diese Ergebnisse kritisch bewertet werden. Es muss angenommen werden, dass die guten Erfolge auf andere Faktoren zurückzuführen sind, denn er selbst schreibt zusammenfassend, dass es bei einiger Übung mit diesem Verfahren leicht möglich sei, jede gewünschte Weite des Ringes durch Variieren der Schichten zu erreichen. Was ist mit dieser Bemerkung anderes gesagt, als dass die Methode weitgehend von subjektiven Einflüssen abhängig ist. Aber gerade dahingehend soll unser Bestreben in der zahnärztlichen Gusstechnik sein, dass wir eine gewisse Schematisierung in unser System aufnehmen, um die vielen Zufälligkeiten ausschalten zu können.

Durch das Aufriffeln des Pulvers kann ziemlich sicher angenommen werden, dass die Einbettmasse unterschiedlich verdichtet wird; - da aber die Expansion von der Dichte abhängig ist, muss man daraus folgern, dass die Hohlform unterschiedlich expandiert und zu Verzerrungen Anlass gibt.

In seinen Untersuchungen konnte ROHRBACH (140) nachweisen, dass durch die Verdichtung der Einbettmasse in Form eines Schichtkernes zwar eine Verringerung der Restkontraktion erzielt werden konnte, gleichzeitig musste aber festgestellt werden, dass die Gussobjekte (MOD) stärkere Verzerrungen zum Ausgangsmodell aufwiesen als entsprechende Versuchsobjekte, die in weicher Einbettmasse eingebettet worden waren; d.h. es findet eine ungleichmässige Schrumpfungsbehinderung durch einen festen Einbettmassenkern statt (ROHRBACH (140)).

Dass KÖNSGEN (96) das Schichtkernverfahren der Vakuumeinbettung vorzieht, mag nicht zuletzt davon abhängig sein, dass bei der Vakuumeinbettung eine angefeuchtete Fliesspapierschicht in der Muffel nicht dick genug war, um der Masse eine weitgehende Expansion zu ermöglichen.

Für gewöhnlich wird der Kern im zweiten Arbeitsgang in eine asbestausgekleidete Muffel eingebettet. Zur Vollständigkeit sei eine modifizierte Methode von LANGER (103) erwähnt, der den Kern in eine Metallmuffel einbettet, deren Boden und Gussmulde mit Einbettmasse ausgefüllt werden, während die Muffel in der Umgebung des Kernes mit Einbettmassepulver angefüllt ist.

Zweifellos sind mit dem zweizeitigen Einbettverfahren, das sich durch einen geringen Aufwand an Materialien und Geräten gegenüber anderen Methoden auszeichnet, relativ gute Erfolge zu erzie-

len; aber wir dürfen uns nicht darüber hinwegtäuschen, dass wir uns mit der zweizeitigen Einbettung von vielen subjektiven Zufälligkeiten abhängig machen.

2. Zur Vollständigkeit der Darstellung sei die Einbettung mittels Zentrifugieren erwähnt, die DANZ (16) unter Mitwirkung von THIELEMANN empfohlen hat und von HANSOHN (68), RIGBERS (139) und KÖNSGEN (96) untersucht wurde.

In einer Zentrifuge wird die Einbettmasse in der Gussküvette durch die Schwerkraft verdichtet und dadurch eine höhere Expansion erreicht (Duroterm um 0,4 %). Ein grosser Nachteil dieses Verfahrens scheint aber darin zu liegen, dass sich die zentripetal entweichende Luftblasen störend auf das Gussobjekt auswirken (HANSOHN, KÖNSGEN).

Für gewöhnlich kommt dieser Methode nur wenig Beachtung zu.

3. Wesentlich mehr Bedeutung wird der Einbettung im Vakuum beigemessen, die auch in unseren Versuchen angewandt wurde.

Durch das Anspateln und den Luftgehalt des Wassers gelangt Luft in die Einbettmasse. Diese Lufteinschlüsse, die vielfach in kleinen Bläschen der Wachsoberfläche anliegen, sind als Gussperlen am fertigen Gussobjekt festzustellen und beeinflussen die Passgenauigkeit erheblich. Glatte Gussoberflächen erhält man nur, wenn die Einbettmasse keine Blasen und Risse aufweist.

Wie durch zahlreiche Arbeiten bewiesen worden ist, erreicht man dieses Ziel am einfachsten mit Einbettmassen, denen im Vakuum (* Unterdruck) die Luft entzogen wird (GRASSL (63), SCHWINDLING (154), OESCHGER (125), LINDERMAN (108), MATHÉ (115), BEECK (6), OVERDIEK (128) und andere).

Zur Erzeugung des Vakuums dienen Pumpen, die man in Kolben-, Rotations-, Diffusions- und Strahlpumpen einteilen kann. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Beurteilung einer Vakuumpumpe ist ihre Saugleistung. Nach OESCHGER (125) soll ein Glas Wasser (von Zimmertemperatur) in 10 bis 20 sec. Blasen entwickeln; oder bei der vielfach verwendeten Wasserstrahlpumpe sei ein Wasserdruck von 8 atü erforderlich (ROSS nach OESCHGER). KIWKOWICZ (60) setzt seine Gussobjekte 13 sec lang einem Unterdruck von 20 mm Hg aus, KÖNSGEN (96) lässt ein Vakuum von 12 bis 16 Torr während 15 bis 20 sec. auf seine Versuchsobjekte einwirken. LINDERMAN macht in ihrer Dissertationsschrift ähnliche Angaben, wobei sie der Temperatur des Anrührwassers ausschlaggebende Bedeutung beimisst; und MATHÉ (115) empfiehlt, das Vakuum 1 bis 2 min auf die Gusszylinder einwirken zu lassen.

Wenn hierbei die Angaben so unterschiedlich sind, so darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Abbindezeit der Einbettmasse von ausschlaggebender Bedeutung ist. Bei Kerr-Cristobalite, wie es u. a. MATHÉ verwendet, beginnt die Abbindezeit nach 7 min (nach VEST (176)), so dass für die Einbettung genügend Zeit zur Verfügung steht. Wird Bayer-Duroterm zur Vakuum-einbettung herangezogen, so ist ein überaus schnelles Arbeiten erforderlich, weil bei richtigem Wasser-Pulver-Verhältnis die Zeit bis zum Abbinden sehr kurz ist. Aus diesem Grunde halten viele Autoren die Verwendung von Duroterm für die Vakuum-einbettung für ungeeignet oder sie wählen für dieses Verfahren ein günstigeres Wasser-Pulver-Verhältnis.

Nach der Zustandsgleichung für ideale Gase (Gesetz von Boyle und Mariotte) kann man annehmen, dass sich ein Luftbläschen im Vakuum (16 bis 18 Torr) etwa um das 45 fache seines Volumens bei 760 mm Hg vergrössert, d. h. selbst kleine wie in einer Emulsion schwebende Bläschen vergrössern sich so stark, dass sie bei zusätzlichem Rütteln leicht nach oben steigen (GRASSL (63)). Der sich durch die Volumenzunahme ergebende grössere Auftrieb der Gasblasen, wirkt ebenfalls begünstigend auf die Ablösung vom Wachsmo-
dell; jedoch genügt der Auftrieb allein nicht, um die Wachs-
oberfläche von Luftblasen zu befreien, wie KIWKOWICZ (91) eindrucks-
voll dargestellt hat. In seinen Untersuchungen über die Vakuum-
druckeinbettung hat KIWKOWICZ auf die Verwendung eines Vibra-
tors verzichtet und kam zu dem überraschenden Ergebnis, dass
die Gussperlenzahl, die KIWKOWICZ nach verschiedenen Grössen
geordnet hatte, bei der Vakuumdruckmethode durchweg höher lag
als z. B. bei der Kerneinbettung. Da er seine Wachsobjekte mit
Alkohol entfettet hat, dürfte auch die dadurch angeraute Wachs-
oberfläche im Hinblick auf die Grenzflächenspannung (siehe oben)
sich ungünstig auf die Ablösung der Luftblasen ausgewirkt haben.
Durch die Untersuchungen von KIWKOWICZ veranlasst, müssen
wir die Wichtigkeit eines Vibrators hervorheben und nochmals auf
die richtige Entspannung der Wachs-oberfläche hinweisen; beide
Forderungen müssen als *conditio sine qua non* für die Vakuum-ein-
bettung herausgestellt werden.

Dass KIWKOWICZ durch einen verfahrenstechnischen Fehler irre-
geleitet wurde, zeigt insbesondere OESCHGER (125), der durch ein-
drucksvolle Bilder beweisen konnte, dass zur Erzeugung glatter
Gussoberflächen die Vakuum-einbettung die Methode der Wahl ist.
OESCHGER hat weiterhin feststellen können, dass die im Vakuum
entlüftete Einbettmasse, eine Volumenverminderung von ca. 15 %
erfährt und die grössere Dichte der Masse ihren thermischen Ex-
pansionswert erhöht. Nach OESCHGER weisen bei 700°C Vorwär-
metemperatur cristobalithaltige Einbettmassen gegenüber quarz-

haltigen Einbettmassen eine grössere zusätzliche Wärmeexpansion auf.

Es muss an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass man eine direkte und eine indirekte Vakuumeinbettung unterscheidet.

Bei der direkten Methode, wie sie von HOLLENBACK und ESTERS, W. I. ROSS und PHILLIPS (nach OESCHGER), von MATHE und vielen deutschen Firmen empfohlen worden ist, wird der gefüllte Gusszylinder unter der Vakuumglocke evakuiert. Bei der indirekten Methode wird die Masse im Gipsnapf evakuiert und es schliesst sich irgendeine Einbettungsart an. Die direkte Methode ist recht einfach in ihrer Handhabung und hat gegenüber vielen anderen Einbettverfahren den grossen Vorteil, dass die zahllosen Zufälligkeiten, die sich bei der Einbettung von Hand ungünstig auf das Gussobjekt auswirken können, durch eine Schematisierung dieses Verfahrens weitgehend vermieden werden können. BEECK (6) und HEHRING (70) konnten nachweisen, dass nur bei der Vakuummethode die Voraussetzung für eine möglichst geringe Schwankungsbreite innerhalb der einzelnen Giessversuche gegeben ist.

Bei der indirekten Methode, wie sie auch von OESCHGER (125) empfohlen wurde, darf als Vorteil bezeichnet werden, dass zur Erzielung grösstmöglicher Ausdehnung die Einbettmasse in der Art eines Schichtkernes höher verdichtet werden kann und ebenfalls glatteste Gussoberflächen erzielt werden. Diese Methode wird sich aber nur bei solchen Einbettmassen durchführen lassen, deren Abbindebeginn genügend Zeit zur Verarbeitung bietet.

Wenn LYON (113) von 1000 Güssen mit der Vakuumeinbettung in 95 % blasenfreie Gussoberflächen erhielt, während bei der entsprechenden Zahl mit normaler Einbettung nur 0,1 % gussperlenfrei waren, so ist für jeden Fall, in dem es darum geht, Präzisionsgüsse zu erreichen, unbedingt die vakuumbehandelte Einbettmasse anzustreben; die besten Gussresultate gewährleisten mit der Vakuumbehandlung cristobalithaltige Einbettmassen (OESCHGER (125)).

III. Die ersten Erkenntnisse über die Wachsexpansion zum Ausgleich der Metallkontraktion gehen auf PRICE und van HORN zurück. Heute wird dieser Methode nur noch wenig Bedeutung beigemessen, denn eine Vergrösserung der ursprünglichen Wachstform ist natürlich nur möglich bei Erwärmung der Wachstmodelle über die Verarbeitungstemperatur des Wachses hinaus (ca. 41° bis 49° C). Die Erwärmung bis zur Verarbeitungstemperatur gleicht nur die vorangegangene Kontraktion aus (NELKE (121)). Eine Erwärmung besonders bei höherer Temperatur führt durch das Freiwerden innerer Spannungen unausweichlich zu einer Verzerrung der Wachstform (MAVES, ROSENZWEIG, PHILLIPS (131),

GERLACH (58-61), FALCK (48/49), SCHEU, FUSAYAMA (56)). Im übrigen sind WEISS und BROWN (nach GERLACH) der Meinung, dass sich die Wachsexpansion im Wasserbad bei Verwendung schnellbindender Massen kaum auswirken kann.

Die vielfach empfohlene Methode, die Einbettmasse mit warmem Wasser anzurühren ist ebenfalls sehr zweifelhaft. HEHRING (70) hat nachgewiesen, dass bei einer Anrührzeit von 45 sec, die Temperatur der Einbettmasse, die mit 37°C warmem Wasser angerührt worden ist, im Augenblick des Einbettens nur noch 27°C beträgt. Auf Grund dieser Überlegungen dürfte es sehr schwierig sein, eine Einbettungstemperatur zu erreichen, die eine nennenswerte Wachsexpansion hervorrufen kann.

WACHSAUSTREIBUNG

30 bis 45 min nach dem Einbettungsvorgang kann man eine Einbettmasse als abgebunden bezeichnen, und es folgt das Entfernen des Wachses aus der Muffel. Hier können grundsätzlich 3 Wege beschrieben werden:

1. Auskochen,
2. Ausbrennen,
3. Herauslösen des Wachses durch chemische Mittel.

Das Auskochen der Muffel im Wasser versucht, die beim Ausbrennen vielfach entstehenden Wachsverbrennungsrückstände zu umgehen, jedoch ist dieses Verfahren nur bei sehr festen Einbettungsmassen (z. B. E 316 von Dentaureum) zu empfehlen, weil weiche Einbettmassen durch das Auskochen zersetzt werden und eine raue Oberfläche bekommen können.

Am häufigsten wird wohl das Ausbrennen des Wachses angewandt. In einem elektrisch oder gasbeheizten Trockenschrank wird das Wachs bei ca. 250°C aus der Küvette ausgetrieben. Bei dieser Methode ist es besonders wichtig, das Ausbrennen des Wachses unmittelbar nach dem Abbinden der Masse vorzunehmen. Zu diesem Zeitpunkt enthält die Einbettungsmasse noch genügend Wasser, das sozusagen als Vehikel für das flüssige Wachs dient (u. a. KUBASCH (97)). Ferner muss darauf geachtet werden, dass die Erwärmung der Muffel nicht allzu schnell erfolgt, um Beschädigungen durch Risse oder Sprünge in der Einbettmasse zu vermeiden; ausserdem gibt schnelles Ausbrennen eine raue Oberfläche (WEIKART (49 + 184)).

Das Herauslösen des Waxes mit chemischen Mitteln, wie es MUMFORD (118), IRWIN und LEVY angegeben haben, wird wohl am seltesten geübt; nicht zuletzt deshalb, weil der Tetrachlorkohlenstoff, der dabei zur Anwendung kommt, gesundheitsschädigende Dämpfe (Leber schädigend!) abgibt.

Es sei noch die von HOLLENBACK empfohlene Wachsabsaugespritze angeführt, die mittels Unterdruck das Wachs aus der Muffel saugt.

Ferner sei noch ein Verfahren von SINGER und PEUGERT (156) angegeben. Zum Erweichen des Waxes wird die Muffel in heisses Wasser gestellt und dann sofort unter die Vakuumglocke gebracht, wo das flüssige Wachs unter Einfluss des negativen Druckes mit eruptiver Schnelligkeit abgesaugt wird, wie die Autoren angeben.

DAS TROCKNEN UND VORWÄRMEN DER MUFFEL

Dem Wachs austreiben schliesst sich das Trocknen der Muffel an; (ist das Wachs ausgebrannt worden, so lässt sich dieser Vorgang vom Trocknen der Gussküvette nicht trennen).

In einem Trockenschrank wird die Muffel einer Temperatur von 250°C bis 300°C solange belassen, bis kein Wasserdampf mehr entweicht. Unvollständig ausgetrocknete Einbettmassen können beim Einlegen in den (700°C) heissen Vorwärmeofen durch den Druck der plötzlich entstehenden Dämpfe gesprengt werden, oder Sprünge und Risse bilden. Im allgemeinen ist eine Gussküvette von 3 cm Durchmesser nach 30 bis 40 min genügend ausgetrocknet.

Die vielfach noch übliche Methode, die Muffel über der offenen Flamme solange zu erhitzen, bis die Kanäle rotglühend erscheinen, ist sehr problematisch. Nach FALCK (47) ist es vorzuziehen, die Gussküvette im geschlossenen Muffelofen auf 500°C zu bringen und dann zu giessen; unter anderem habe es den Vorteil, dass man eine wirklich gleichmässige und definierbare Erwärmung erreicht, während das Abschätzen der Temperatur nach dem Helligkeitseindruck der glühenden Muffel durch die wechselnde Beleuchtung des Laboratoriums bedingt, dem subjektiven Ermessen zu sehr unterworfen ist.

In neuerer Zeit wird eine grosse Anzahl elektrisch beheizter Vorwärmeofen in den Handel gebracht, die eine genaue Temperaturregelung durch Thermostat oder Wattregler ermöglichen. Aber auch bei konstant gehaltener Ofentemperatur kann eine im Ofeninnern nicht

zentral gelagerte Gussküvette ungleichmässig erwärmt werden. In diesem Falle findet die Durchdringung der Einbettmasse mit der entsprechenden Glühtemperatur nicht gleichmässig statt, und naturgemäss ist die Expansion nicht allgemein gleich (VACHUDA (174)).

Der Einfluss der Vorwärmetemperatur auf die Expansion der Einbettmasse ist an anderer Stelle besprochen worden; hier soll noch Erwähnung finden, dass nach KNAPPWOST (91 + 94) der Verlauf der Expansionskurven auch von der Aufheizzeit abhängig und bei schnellem Aufheizen mit grösseren Expansionswerten zu rechnen sei.

Nach Untersuchungen der DEGUSSA (20) hat die Muffelhohlform einer kleineren Muffel in einem auf 700°C eingestellten Ofen nach 20 min ca. 650°C . 30 min Vorwärmezeit darf als Regel gelten und wird in vielen Arbeiten empfohlen.

DIE GUSSVERZUGSZEIT

Die Zeit vom Herausnehmen der Muffel aus dem Vorwärmeofen bis zum Moment des Giessens bezeichnet UHLIG als Gussverzugszeit.

Die Angaben über die, bei den verschiedenen Untersuchungen jeweils eingetretenen Gussverzugszeiten differieren stark; ebenso unterschiedlich sind die Meinungen über die Abkühlung der Gussküvette in einer bestimmten Zeiteinheit.

CASTEDELLO (9) gibt eine Abkühlung von 40°C pro halbe Minute im Temperaturbereich von 900° bis 500°C an. Nach DANZ (16) kühlt die Muffel in der gesamten Gussverzugszeit in der Regel um 20° bis 30°C ab; und sie folgert daraus, dass der Wert eines Gussapparates nicht so sehr darin liege, dass eine Abkühlung verhindert wird, denn selbst bei einem Temperaturabfall von 100°C , der in ungefähr 2 min eintrete, könne auf Grund des horizontalen Verlaufes der Abkühlungskurve (Duroterm) noch keine nennenswerte Kontraktionsercheinung sich nachteilig auf das Gussobjekt auswirken (Vergleiche aber Abb. 1 !).

HANSOHN (68) folgert aus den Messungen von DANZ, dass dieser geringe Temperaturabfall allenfalls einem Kontraktionswert von 1/100 bis 1/200 mm (lin.) entspräche.

DREYER-JØRGENSEN gibt eine thermische Abkühlung beim Guss mit 50°C pro min an; und FALCK erklärt, dass zur Zeit des Giessens die Muffel 250° bis 300°C weniger als ihre maximale Erwärmung im Vorwärmeofen betrage, während RICE (137) eine Abkühlung der Form mit 30°C pro Minute angibt.

Genauere Messungen von WAGNER (180) ergeben bei einer Remanit Kuvette mit 80 mm Durchmesser und 55 mm Höhe folgende Werte:

700° - 600°C	1 min
700° - 500°C	2,5 min
700° - 400°C	5 min

Wie unterschiedlich die Angaben der Muffelabkühlung beim Giessvorgang auch sein mögen, so steht fest, dass durch das Überleiten des warmen Gusszylinders in den meist kalten Gussapparat eine Abkühlung der Einbettmasse eintritt, FLAUMENHAFT, SCHUBERT, BROWN und GERLACH wiesen darauf hin, dass das Giessen in eine expandierte Hohlform beim Schmelzen des Gussgutes in der Gussmulde praktisch nicht zu verwirklichen ist und sie erinnern dabei an die verhängnisvolle Wirkung auf die Passgenauigkeit des Gussobjektes.

Es muss auch berücksichtigt werden, dass der Temperaturabfall räumlich durchaus nicht gleichmässig die Einbettmasse durchziehen muss und so immer mit einer Verzerrung der Gussform zu rechnen ist (VACHUDA (174)).

Beim Schmelzen des Metalles im Gusstrichter wird die Einbettmasse einseitig stark erhitzt, und eine gewisse Verzerrung der Gussform ist unvermeidlich. Weitere Ausführungen zu diesem Gedanken werden an anderer Stelle beschrieben.

Abschliessend zu diesem Kapitel möchte ich erwähnen und es gleichzeitig als Wunsch für spätere Untersuchungen auf dem Gebiete der zahnärztlichen Gusstechnik aussprechen, dass man der Gussverzugszeit mehr Beachtung beimessen und eventuell eine Zeitdauer angeben möge.

DIE GUSSAPPARATE

Soweit es im Rahmen dieser Arbeit möglich ist, soll hier die geschichtliche Entwicklung der zahnärztlichen Gusstechnik eingefügt werden; und weiterhin wird besprochen, welche Giessmöglichkeiten wir heute haben und was noch zu erwarten sein wird.

Als Meilenstein in der Geschichte der zahnärztlichen Gussverfahren wird vielfach TAGGARTS (165) Demonstration vor der New Yorker Odontologischen Gesellschaft am 15.1.1907 erwähnt. Damals machte er seine Kollegen mit einer neuen brauchbaren Methode zur Herstellung genauer Zahnfüllungen nach dem Lost-Wax-Verfahren vertraut. Neu und genau war allerdings TAGGARTS Technik keines-

wegs, denn nach neueren Forschungsergebnissen hat die Methode des "Verlorenen Wachses" bereits im Altertum Anwendung gefunden. (FEINMANN (50) und MÜNCH (119))

Goldgussfüllungen wurden schon vor 2000 Jahren hergestellt, wie FEINMANN zu berichten weiss. SAVILLE habe in Ecuador eine Anzahl Schädel gefunden, deren Zähne oft Goldeinlagen wahrscheinlich als Schmuck enthielten. WEINBERGER glaubt, dass diese Indianer eine ähnliche Technik wie die von Ollendorf besessen haben müssten, während andere Autoren annehmen (100), dass diese Einlagen geschmiedet worden sind. Weiterhin ist bekannt geworden, dass bereits viele hohle Bronzestatuen des Altertums nach dem "Verlorenen-Wachs-Verfahren" hergestellt wurden. In neuerer Zeit ist SARRAN zu erwähnen, der 1884 einen Wachsabdruck in eine offene Form so einbettet hat, dass eine Fläche des Inlays von Einbettmasse nicht bedeckt wurde. Nach Ausschwemmen des Wachses wurde das Gold in der Hohlform geschmolzen und mit einem Holzstößel in die Form gepresst. (MÜNCH (119)) Die Idee, Metall unter Druck zu giessen, wurde wahrscheinlich von James WOOD (1859) übernommen.

Als TAGGARTS Methode bekannt wurde, erinnerte PHILBROOK (130) daran, schon im Jahre 1896 über "Die Restauration von Molaren durch Goldguss unter pneumatischem Druck" gesprochen zu haben. Um die Jahrhundertwende beschäftigten sich schon VILLAIN, SOLBRIG und viele andere mit dem zahnärztlichen Gussproblem. 1904 empfahl OLLENDORF eine Gussmethode unter Ausnützung der Eigenschwere des Metalls. 1905 versuchte BURT ausserdem die Bewegungsenergie des Metalls auszunützen. Doch TAGGART verwies mit dem Verlorenen-Wachs-Verfahren OLLENDORFS Methode in die geschichtliche Vergangenheit. TAGGART konstruierte auch den ersten brauchbaren Gussapparat, bei dem die Schmelze durch Luftdruck in die Form gepresst wurde; (MÜNCH und OESCHGER) und seit dieser Zeit wird TAGGART vielfach als Begründer der zahnärztlichen Gusstechnik angesehen.

Innerhalb kurzer Zeit wurde eine grosse Anzahl von Gussapparaten entwickelt, die von vielen Autoren nach der dabei zur Anwendung kommenden Kraft aufgegliedert werden.

Den meisten Gussapparaten ist gemeinam, dass die Muffel während des Schmelzvorgangs aufrecht steht, und das Gussgut mit der offenen Flamme, häufig einer Gebläseflamme, direkt auf der Muffel geschmolzen wird. Als besonders schädlich stellt sich dabei die Einwirkung der offenen Flamme auf das Gussgut heraus; (MÜNCH (119)) die offene Flamme bewirkt eine Steigerung der Luft- und Gas-einschlüsse in der Schmelze, die Möglichkeit der Überhitzung einer Schmelze wird durch die offene Gebläseflamme begünstigt und dementsprechend eine Wertminderung des Kristallgefüges mit den damit

verbundenen schlechten Eigenschaften einer Legierung ermöglicht.

Bei der Erhitzung der Einbettmasse mit der offenen Flamme kann es zu einer Zersetzung kommen, bei der Schwefelverbindungen entstehen, die mit verschiedenen Legierungsanteilen (Palladium, Silber) Sulfide bilden. Eine mit Sulfiden durchsetzte Legierung ist brüchig, sie verliert ihre guten mechanischen und chemischen Eigenschaften und verhindert z.B. beim Anguss eine einwandfreie Verbindung mit den angegossenen Legierungen.

Aus vergleichenden Untersuchungen SCHEFFLERS (143) über den Einfluss der Gussmethode (OETTINGER-, HAND- und TIEGELSchleuder) geht hervor, dass bei Verwendung der Tiegelschleuder in metallographischer Hinsicht das beste Gefüge erzielt worden ist. FAESCH (46) und KLUGE (92) erreichten mit dem Dampfdruckverfahren die "konstantesten porenärmsten Gussobjekte"; (nach SPRENG (66 d)) und auch DEMISCH (29) hält die Press-Guss-Methode für die "solideste".

Bei diesen Verfahren wurde der Wasserdampfdruck dadurch erzeugt, dass eine mit Wasser angefeuchtete Asbestscheibe unter hermetischem Abschluss auf den das flüssige Metall enthaltenden Guss-trichter aufgedrückt wurde. Durch die Hitze verdampft das Wasser und drückt als Wasserdampf das flüssige Metall in die Giessform (WEIKART (184)).

ALBRECHT (2) vergleicht in seinen Untersuchungen Vakuumapparat, Handschleuder und Druckgussapparat (ADLER-) miteinander. Aus den vergleichenden Untersuchungen mit Gussobjekten verschiedenen Schwierigkeitsgrades ergab sich, dass der ADLER-Druckgussapparat in keinem der Fälle versagte; jeder Guss zeigte eine einwandfreie Modellwiedergabe.

Wenngleich die Pressgussverfahren im Vergleich mit dem Schleuderguss nach Ansicht von SPRENG (66 d) und ALBRECHT (2) bessere Gussgefüge zeigten, so darf dieses Ergebnis nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, dass bei diesen Verfahren das Gussgut in der Muffel erhitzt wird und hierbei eine Überhitzung der Schmelze leicht möglich ist, womit der vermeintliche Erfolg leicht vereitelt werden könnte. Dass sich das Schmelzen des Metalls in der Gussmulde ungünstig auf die Passgenauigkeit des Gussstückes auswirkt, ist vielfach veröffentlicht worden.

SCHEFFLER (143) glaubt zwar, dass die Gussapparate keinen wesentlichen Einfluss auf die Passgenauigkeit und das Ausfliessvermögen der Gussobjekte haben, jedoch schliessen wir uns der Meinung von VACHUDA (174) und vielen anderen an, dass die regionäre Erwärmung der Gussmulde beim Schmelzen der Legierung, mit einer ungleichmässigen Dehnung der Einbettmasse einhergeht; und man muss

HANSOHN (68) recht geben, wenn er anführt, dass das Schwindmass nicht nur von der Legierung abhängig ist, sondern auch von der Art des Giessens (und der Gestalt des Gussobjektes). Ähnliche Feststellungen macht auch RAU (135), der an verschiedenegeformten Gussobjekten eine Beeinträchtigung des Schwindmasses durch das Schmelzen der Legierung im Gusstrichter nachweisen konnte. Und HARNDT (69) veranschaulicht an 3 Einbettmassenquadrern, welche Deformationen eine einseitige Erwärmung in der Einbettmasse hinterlässt.

Durch einen kritischen Vergleich der verschiedenen Gussmethoden hat LEUSER (106) gezeigt, dass die auf den Giessdruck bezüglichen Forderungen am einfachsten durch Schleudergussapparate verwirklicht werden. Ferner ist man nur beim Schleuderguss in der Lage Entlüftungskanäle anzubringen, um eventuelle Luftstauungsvorgänge in der Muffel zu beseitigen (SPANNER (160)). Auf Grund dieser Überlegungen hat LEUSER unter Berücksichtigung metallkundlicher Gesichtspunkte eine Schleuder entwickelt, bei der das Metall unabhängig von der Gussform in einem Kohletiefel geschmolzen wird. SPANNER ist der Meinung, dass bei Benützung der Tiegelschleuder Überhitzung und Oxydation des Gussmetalles am besten zu vermeiden ist. MÜNCH (119) bezeichnet die von LEUSER entwickelte DEGUSSA-Tiegelschleuder als die bedeutendste Verbesserung in der Geschichte des zahnärztlichen Gussverfahrens seit TAGGART. Nach MÜNCH beseitigt diese Erfindung durch sinnvolle Anwendung aller in der Giessereiindustrie gesammelten Erfahrungen viele der Nachteile, der bis dahin üblichen Gussmethoden.

Die Vorteile dieser Schleuder sollen kurz erwähnt werden:

1. Das Metall wird nicht der offenen Flamme ausgesetzt; sondern indirekt in einem Kohletiegel geschmolzen.
2. Dadurch wird die Überhitzung der Legierung weitgehend vermieden und durch die Schutzgasatmosphäre aus Kohlenoxyd wird eine Oxydation unterbunden.
3. Da das Metall unabhängig von der Gussform geschmolzen wird, kann die Muffel bis zur Beendigung des Schmelzvorganges im Vorwärmeofen bleiben: sie behält dadurch die gewünschte Vorwärmtemperatur und die Gussverzugszeit wird wesentlich verkürzt.
4. Da die Muffel beim Schleudervorgang horizontal liegt, können die Gusskanäle genügend weit gewählt werden, so dass auf die Anbringung eines Verlorenen Kopfes verzichtet werden kann.
5. Bei richtiger Einhaltung der Forderung, dass die Schmelze immer von dickeren zu dünneren Gusspartien fließen soll, wird die Erstarrungsrichtung der Legierung, die entgegengesetzt verläuft, durch die Tiegelschleuder derart geregelt, dass der glühende Boden des Kohletiegels das Schmelzreservoir auch nach dem Guss noch eine zeitlang flüssig hält; das Gussstück kann daher Schmelze nachsaugen und lunkerfrei erstarren.

Die Verwendung des neuentwickelten elektrischen Schmelzofens anstatt des Kohletiegelhalters und der Gebläseflamme hat unter anderem den Vorteil, die Legierung noch gleichmässiger schmelzen zu können; und da der beheizte Ofen auch nach Unterbrechung der Stromzufuhr die Legierung eine zeitlang flüssig hält, kann der Gussvorgang in gewisser Weise schematisiert werden (gewünschte Überheizungszeit der Legierung).

Die Manipulationen beim Giessvorgang insbesondere der elektrischen beheizten DEGUSSA-Tiegelschleuder sind so einfach, dass sie vom Geübten und weniger Erfahrenen in gleicher Güte ausgeführt werden können; während das Schmelzen in der offenen Mulde stets von der Erfahrung und Übung des Praktikers abhängig, und damit eine gewisse Unregelmässigkeit im Gusserfolg möglich ist. So zeigt die Tiegelschleuder auffällig gleichmässige Resultate, wie schon SCHEFFLER (143) 1931 festgestellt hat.

Die kritische Gusstemperatur, bei der eine Legierung das Optimum an physikochemischen Eigenschaften im Gussstück aufweist, ist ein engbegrenzter Temperaturbereich. Eine unvollkommene Verflüssigung der Legierung stellt das Ausfliessen der Hohlform in Frage, eine Überhitzung der Schmelze beeinträchtigt durch Gaseinschlüsse und Grobkörnigkeit das Metallgefüge. Diesen Überlegungen Rechnung tragend wurde in USA das Thermotrol-Gerät entwickelt, dessen elektrisch beheizte Schmelzvorlage mittels eines Pyrometer die jeweilige Temperatur der Legierung anzeigen soll; allerdings liegt der Thermostatausserhalb der Ofenwicklung. Von DREYER (33) wird ein Schmelzverfahren mit Hochfrequenzstrom beschrieben und auch hier soll eine Temperaturkontrolle möglich sein.

Ja man kann sich vorstellen, dass man auf diese Weise ein vollkommen automatisches Gussverfahren entwickeln könnte, wobei Vorwärmen, Schmelzen ja selbst der Guss im Vakuum selbständig vor sich gehen und das Resultat wären stets erstklassige Gussstücke (WEIKART).

In dieser Arbeit wird beim Angussverfahren nochmals die Tiegelschleuder zu erwähnen sein, im Zusammenhang mit einer vielfach auftretenden Gusslamelle an der Übergangsstelle vom Ring zum angegossenen Teil.

Hier soll noch auf Untersuchungen von SCHILLING (146) hingewiesen werden, der festgestellt hat, dass eine bis 700°C erhitzte Einbettmasse keine Verformung beim Schleuderguss erleidet; weiterhin stellte er fest, dass der gesteigerten Rotationsgeschwindigkeit der Schleuder eine Gewichtszunahme des Gussobjektes bis 1 % entsprach und diese Gewichtszunahme nicht auf Volumenvergrösserung

beruhte. Diese Untersuchungen können vielleicht WEIKART bestätigen, der dem Schleuderguss den Vorzug gibt, weil der Schleudruck der Lunkerbildung entgegenwirkt; - eine Gewichtszunahme bei gleichbleibendem Volumen kann sich ja nur in grösserer Dichte des Gussstückes auswirken.

DIE BEHANDLUNG DER MUFFEL NACH DEM GUSS

Nach dem Guss sollte stets darauf geachtet werden, dass die Gussobjekte in der Muffel langsam an der Luft oder besser noch in Gips abkühlen. ROHRBACH (140) konnte starke Verzerrungen (bis 1 %) von Gussobjekten nachweisen, die unmittelbar nach dem Guss abgeschreckt worden sind, ja selbst das Abschrecken nach 10 minütigem Stehenlassen führte bei Muffeln mit 45 mm Durchmesser zu Gussverformungen. Für die Praxis dürfte es nach ROHRBACH ausreichen, kleine Gussstücke an Luft vollständig abkühlen zu lassen und erst dann auszubetten. Grosse Gussstücke wie gegossene Prothesen, sollten nach dem Giessen in Einbettmassepulver gelegt werden um dort langsam abzukühlen.

Bei richtiger Verarbeitung der Legierung Degulor i können wir nach der Ansicht folgender Autoren Degussa (19, 24, 28), Drum (37), GUTTACK (65), JUNGE (90), KÜHL (98), UHLIG (172/173), WAGNER (179), EIFINGER und MAAS (40) von einem Anguss sprechen, d.h. einer oxydschichtfreien Verbindung zweier Legierungen.

Die Vielzahl der Veröffentlichungen, die das zahnärztliche Gussverfahren zum Gegenstand haben, zeigten uns, dass man im Laufe der Jahre viele Erfahrungen gesammelt hat und dabei mit mehr oder weniger grossem Erfolg eine befriedigende Passgenauigkeit der Gussobjekte erzielen konnte.

Aufgrund der vielen und sich oft widersprechenden Einzelergebnisse setzten wir uns das Ziel,

- I. aus der Vielzahl der Einzelergebnisse ein Gussverfahren zusammenzustellen, das
 1. von labortechnischen Zufälligkeiten weitgehend unabhängig ist,
 2. einfach durchzuführen ist,
 3. weitgehend schematisiert werden kann, um eine möglichst geringe Fehlerbreite zu erreichen,
 4. Gussobjekte hoher Passgenauigkeit erzielt;
- II. die Einbettmassen vergleichsweise zu untersuchen, da diese die Passgenauigkeit wesentlich beeinflussen;
- III. die Abhängigkeit der Passgenauigkeit vom Präparationswinkel des kegelstumpfförmigen Modells bei Gusskronen zu untersuchen und anschliessend ein Gussverfahren zu entwickeln, das die Passgenauigkeit vom Präparationswinkel unabhängig macht;
- IV. bei Angusskronen den Einfluss des Gussdeckels auf die Passgenauigkeit des Ringes zu untersuchen; bei diesen Versuchen wurden Modellstümpfe verwendet, deren cervicaler Teil zur Gewährleistung einer sicheren Führung des Kronenringes zylindrisch geformt ist und deren übriger koronaler Teil Kegelstümpfe mit unterschiedlichem Präparationswinkel sind.

Mit diesen Modellen wurden 3 vergleichende Untersuchungsreihen durchgeführt, die sich voneinander nur in der gewählten Höhe des Kronenringes unterschieden.

Da diese Phantomversuche nicht direkt angegangen werden konnten, war zur Entwicklung der Methodik eine Reihe von Vorversuchen notwendig; dabei wurde festgestellt, dass

1. sämtliche Kronen im Hinblick auf die Fehlerbreite schematisiert modelliert und verarbeitet werden müssen,
2. nur die Vakuumtechnik es ermöglicht, gussperlenfreie Gussobjekte zu erzielen,
3. manche messtechnische Schwierigkeiten zu beseitigen sind,
4. Kronenringe durch ein angegossenes Band (ohne Kronendeckel) gestaucht werden,
5. sich der Innenfläche des eingebetteten Ringes bei Angusskronen eine dünne Metallschicht aufgelagert, die verfahrenstechnisch beseitigt werden muss.

VORBEREITENDE MASSNAHMEN ⁺⁾

Als weitere Vorbedingungen zur Durchführung der Experimente mussten noch folgende praktische Voraussetzungen geschaffen werden; nämlich

1. Es mussten Präparationsmodelle sowohl für Teleskopkronen als auch für Angusskronen entworfen und hergestellt werden,
2. nahtlose Kronenringe mit konstantem Innendurchmesser gezogen werden.

1. DIE PRÄPARATIONSMODELLE

Als Modellstümpfe für die schematischen Guss- und Angusskronen wurden Drehkörper aus gehärtetem Silberstahl hergestellt.

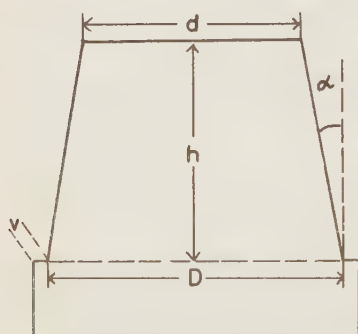


ABBILDUNG 2

Bei einer Serie (Abb. 4) bestehend aus 6 Modellen, handelt es sich um Kegelstümpfe mit einer Höhe (h) von ca. 7,3 mm, deren Winkel α zwischen 0° und 5° liegt; der untere Durchmesser (d) liegt zwischen 8,61 mm und 9,82 mm.

Die Kegelstümpfe (Abb. 4) dienen als Modelle für schematische Gusskappen in der Art von Vollguss-, Einstückguss- oder Teleskopkronen; gemäss der Bezeichnung im DEGUS-SA-Brief Nr. 30 und den Angaben

von KLUMPP (61) wollen wir im folgenden von Teleskopkronen sprechen.

Fünf andere Modelle bilden eine weitere Serie (Abb. 5); es sind Kegelstümpfe mit einer Höhe (h) von ca. 5,1 mm, wobei der Fuss des Kegelstumpfes (z) um ca. 2,2 mm bis zur Vermessungsstufe (v) zylindrisch verlängert ist; der Winkel β liegt zwischen 1° und 5° . Der Durchmesser (D) des zylindrischen Teiles des Drehkörpers beträgt 9,83 mm, der obere Durchmesser des konischen Teiles (d) liegt zwischen 8,84 mm und 9,78 mm.

+)

Der experimentelle Teil dieser Arbeit wurde in der Metallographischen Abteilung der Degussa Pforzheim bearbeitet.

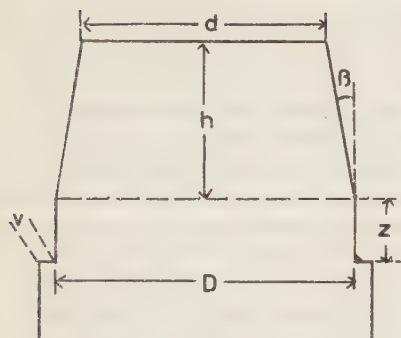


ABBILDUNG 3

le zusammengefasst.

Wie schon erwähnt, wurde diese Modellform für unsere Versuche mit Angusskronen ausgewählt, um dem Degulor i-Ring auf dem Modell eine gute Führung zu ermöglichen und einen Verkantungseffekt auszuschalten. Insbesondere rechtefertigt eine klinische Krone durch die Vergrößerung des Reibungswiderstandes einen solchen Präparationsstumpf.

Die genauen Angaben über die Dimensionen der oben genannten Modellstümpfe sind in folgender Tabelle

Modellstumpf	Dimensionen nach Abb.2 und Abb.3 in mm			
	D	d	h	z
1	9,83	9,81	7,37	
2	9,83	9,57	7,38	
3	9,83	9,33	7,20	
4	9,83	9,08	7,24	
5	9,83	8,85	7,30	
6	9,83	8,61	7,20	
7	9,83	9,66	7,36	--
8	9,83	9,44	7,35	2,10
9	9,83	9,27	7,33	2,19
10	9,83	9,08	7,35	2,25
11	9,83	8,84	7,35	1,84

Vermessungsstufe (v) = 0,5 mm

Modellstümpfe 1 - 6 für Teleskopkronen,
1 und 7 - 11 für Angusskronen.

TABELLE 3

2. DIE KRONENRINGE

Für die Angusskronen wurden nahtlose Degulor-i-Ringe hergestellt, deren Innendurchmesser dem Durchmesser an der Vermessungsstufe des Stahlmodells entsprach. Um etwaige Schwankungen im Innendurchmesser der Ringe zu vermeiden, wurden sämtliche Degulor i-Ringe aus demselben Degulor i-Rohr hergestellt und auf die Länge von 8 mm, 6 mm und 4 mm abgestochen. Beim Abstechen entsteht an den Ringen ein kleiner Grat, der die Messergebnisse beeinträchtigen könnte und deshalb abgeschmiegelt wurde. Beim Abschmiegeln der Ringe liess es sich nicht vermeiden, dass die Höhe der Ringe an verschiedenen Stellen unterschiedlich wurde und auch die Ringe unter sich in ihrer Höhe geringe Schwankungen aufwiesen.

So zeigte sich beim Aufsetzen auf die Stahlmodelle, dass zwischen Ring und Vermessungsstufe des Modells an manchen Stellen des Umfangs ein kleiner Spalt auftrat und der Ring nur an vereinzelter Stellen der Vermessungsstufe aufsass. Es wäre möglich gewesen, an dieser Stelle jeweils die Vermessung vorzunehmen, praktisch erwies es sich aber als vorteilhafter, ungeachtet der Ringbreite sowohl die Stahlmodelle als auch sämtliche Ringe mit Messkerben zu versehen. Jeweils drei parallele Messkerben wurden mit einem Ritzhärteprüfgerät in die Metallteile eingeritzt; die Breite der Kerbe betrug ungefähr 0,01 mm.

Nach Abschluss der vorbereitenden Massnahmen konnte die eigentliche Versuchsanordnung festgelegt werden.

VERSUCHSANORDNUNG

Mit Ausnahme des verschiedenartigen Modellierens, der Vermessung der Angusskronen vor dem Guss und der unterschiedlichen Vorwärmetemperatur, sind sowohl Teleskop- als auch Angusskronen nach folgender Versuchsanordnung hergestellt worden.

Das Modellieren der Teleskopkronen wurde insofern schematisiert, als vorgeformte Wachsteile aus rosa Kerr-Casting-Wax (gauge 24, d.h. 0,51 mm Plattenstärke) zur Anwendung kamen. Da die Versuche jeweils im Sommer durchgeführt wurden und die Raumtemperatur 22° bis 25°C betrug, waren die Wachsteile in der Hand genügend plastisch und mussten nicht zusätzlich durch Rotlicht

oder Wasserbad erwärmt werden. Auf den mit Kerr-Mikrofilm isolierten Stahlkörpern wurden die Wachsteile exakt angelegt; die einzelnen Teile mussten nur durch kleine Schmelzstellen zur Krone zusammengefügt werden.

So entstand eine Serie von Teleskopkronen mit 0,5 mm Wandstärke. Eine zweite Serie von Teleskopkronen mit 1,0 mm Wandstärke entstand dadurch, dass die schon beschriebenen Wachskronen mit einer zweiten entsprechend grösseren Wachsschicht überzogen wurden.

Das Modellieren von Angusskronen: Bei den ersten Versuchsobjekten für Angusskronen zeigte sich, dass beim Abnehmen der Objekte von den Stahlmodellen, sich jeweils das anmodellierte Wachs vom Degulor-i-Ring löste. Es musste also für eine solide Verbindung des Ringes mit dem anmodellierten Wachs gesorgt werden, um die Versuchskörper ohne Verspannungen von den Stahlmodellen abnehmen zu können. Dieses konnte erreicht werden, indem die Wachsteile mit Klebewachs (Deiberit 502 von Böhme Sacha/Harz) an den Ringen angeschmolzen wurden.

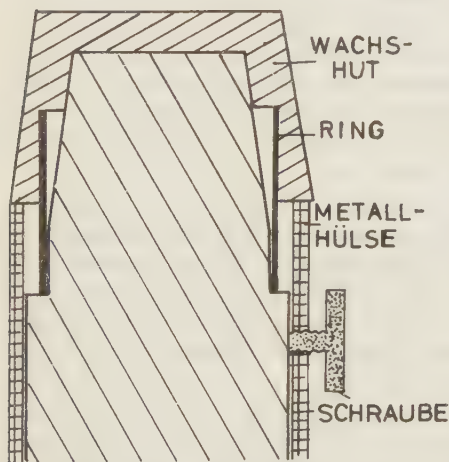


ABBILDUNG 4

Schematische Darstellung des Modellierens von Angusskronen

Um bei den Kronen jeweils den gleichen Betrag übermodellieren zu können, d.h. um den Degulor-i-Ring bei jeder Krone im unteren Teil um die gleiche Breite freizulassen, verwendeten wir eine Metallhülse. Die Metallhülse wurde durch eine Schraube am Drehkörper arretiert, so dass die Wachsstufe in der gewünschten Höhe modelliert werden konnte (Abb. 4).

Die Vermessung der Angusskronen vor dem Guss soll im Zusammenhang mit dem Vermessen aller Versuchsobjekte besprochen werden.

Als Gusskanal verwendeten wir bei allen Kronen Wachsstäbe mit rundem Querschnitt von 2,5 mm Durchmesser

(Hersteller: Dentaurum Pforzheim), welches in einem Winkel von ca. 45° an der approximal-occlusalen Kante der Krone angesetzt wurden.

Um die inneren Spannungen des Wachses aufzuheben und die eventuell dadurch bedingten Verformungen der Wachsubjekte weitgehend auszuschalten, wurden sämtliche Objekte nach dem Modellieren auf den jeweiligen Modellen im Wasserbad von 30° bis 35° C mindestens 15 Minuten lang entspannt.

Unmittelbar danach wurden die Wachsubjekte mit äußerster Vorsicht durch drehende Bewegungen von den Stahlmodellen abgenommen und mit dem Wachsgusskanal auf das DEGUSSA-Einbettgerät aufgewachst.

Um das Wachs zu "entfetten" und benetzbar zu machen, überzogen wir die Objekte mit einer Schicht Kerr-Vakufilm mittels eines weichen Pinsels. Nach 3 bis 4 Minuten war das Lösungsmittel verdunstet und die Wachsoberfläche erschien trocken.

Alle Güsse wurden in der DEGUSSA-Gussküvette 1 R eingebettet. Die Muffel besteht aus 1,0 mm starkem Remanitbleck; sie ist 45 mm hoch und ihr Innendurchmesser beträgt 28 mm.

Die Muffel wurde mit 33 mm breitem und 0,5 mm dickem Asbeststreifen in einer bzw. zwei Lagen ausgekleidet. Um während des Einbettens ein Ablösen des Asbestpapiers vom Metallzylinder zu verhindern, haben wir die Streifen an mehreren Stellen an die Muffelwand angewachst. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, dass der Abstand zwischen Asbeststreifen und Muffelrand auf der Gussmuldenseite möglichst gering war. Beim späteren Ausbetten konnte man am Rande der Gussmulde den Asbeststreifen sehen, so dass wir sicherlich der Forderung von DREYER-JØRGENSEN (35) gerecht geworden sind (siehe oben).

Die Asbeststreifen in der Muffel wurden angefeuchtet und anschliessend sorgfältig mit Vaseline eingefettet. Wir verwendeten zu diesem Zweck eine gewöhnliche Handcreme auf Vaselinebasis die infolge ihres angenehmeren Geruchs, einer technischen Vaseline vorgezogen wurde. Das Befeuchten des Asbestpapiers sollte keineswegs irgendeinen hygroskopischen Expansionseffekt erzielen, sondern lediglich die starren Asbeststreifen geschmeidiger machen. Um die semihygroskopische Expansion mit all ihren Nachteilen auszuschalten, achteten wir insbesondere darauf, dass die Vaseline-schicht die Muffelinnenwand ohne Unterbrechung bedeckte. Eine was-serabgebende Wirkung von seiten des Asbestpapiers dürfte durch diese Massnahme ausgeschlossen worden sein.

In der überwiegenden Mehrzahl der Versuche wurde im Vakuum eingebettet. Um während der Evakuierung zu verhindern, dass beim "Hochsteigen" in der Muffel die Einbettmasse überquillt, haben wir die Gussküvetten mit wasserfestem Papier ("Glanzpapier"),

das durch Gummiringe an der Muffel festgehalten wurde, zylindrisch verlängert. Die so vorbereitete Muffel setzten wir auf das Einbettgerät und es folgte der eigentliche Einbettvorgang. Ein kleiner Gumminapf (Durchmesser ca. 7 cm) wurde mit Wasser ausgespült und mit einem Tuch ausgerieben. In diesen feuchten Gumminapf füllten wir eine abgemessene Wassermenge (13,5 ccm destilliertes Wasser von 22° bis 25°C) und fügten die von der Herstellerfirma angegebene Menge Einbettmassepulver hinzu. Dabei wurde so verfahren, dass die Pulvermenge schon vorher jeweils in Tütchen abgewogen worden war und so der Arbeitsgang nicht unterbrochen wurde.

Von der Herstellerfirma wird für Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment ein Wasser : Pulver-Verhältnis 38 bis 42 ccm Wasser zu 100 g Pulver angegeben, für Bayer-Duroterm-normal mit 10 : 29. Das Mischungsverhältnis von Kerr-Cristobalite entspricht bei 13,5 ccm Wasser einer Pulvermenge von 33 g. Da Duroterm-normal bei dem angegebenen Mischungsverhältnis schon während des Evakuierens mit dem Abbindeprozess begann und die gegossenen Objekte vielfach durch grosse Gussperlen unbrauchbar wurden, mussten wir das Anrührverhältnis von 10 : 29 auf 10 : 28,5 ändern; für jeden Versuch benötigten wir dementsprechend 38,5 g Pulver. Die jeweils angerührten Mengen Einbettmasse waren gerade ausreichend, um die DEGUSSA-Gussküvette 1 R zu füllen. Wir haben dadurch den unnötigen Verbrauch von kostspieligen Einbettmassen auf ein Minimum herabgesetzt. Nach gutem Durchspateln auf einem Vibrator (Renfert u. Co.) wurde die Masse vorsichtig in die Muffel eingefüllt und die Evakuierung unter Vibration vorgenommen. Wir verwendeten in unseren Versuchen ein Vakuumeinbettgerät mit Wasserstrahlpumpe (Renfert u. Co.). Wie schon erwähnt, ist die Qualität der Apparatur wesentlich von der Saugleistung abhängig; bei unseren Versuchen hatten wir in der Wasserleitung einen hohen Druck, so dass wir in ca. 20 sec eine Druckherabsetzung erreichen konnten, bei der das Wasser der Einbettmasse seinem Siedepunkt recht nahe kam. Nach WEIKART (49) entspricht die Wasserdampfspannung bei 20°C einem Druck von 17,5 Torr, bei 25°C 23,8 Torr.

Bei heftiger Vibration stieg die Masse im verlängerten Gusszylinder hoch, die anfänglich kleinen Blasen nahmen schnell an Grösse zu und zerplatzten. Schliesslich sank die Einbettmasse in sich zusammen, aber immer noch konnte man vereinzelte Blasen an der Oberfläche beobachten. Erst wenn die Oberfläche der Einbettmasse keine nennenswerte Blasenbildung mehr zeigte, wurde der Belüftungshahn des Vakuumeinbettgerätes ganz langsam geöffnet.

Der ganze Vorgang von Beginn des Evakuierens bis zur Abnahme der Glasglocke des Gerätes dauerte bei der Einbettung mit

Kerr-Cristobalite ca. 2 min, bei Duroterm-normal ca. 1,5 min.

Bezugnehmend auf WEIKART können wir sagen, dass bei unseren Versuchen die Einbettmasse zwar in Wallung geriet, aber wir konnten keine nachteiligen Erscheinungen feststellen.

Wenn im folgenden bei den Zeitangaben ein Bereich benannt wird, so ist dies darauf zurückzuführen, dass jeweils 3 Gussobjekte zusammen vorgewärmt und gegossen wurden, die unter sich kleine zeitliche Differenzen aufwiesen. Nach unseren Untersuchungen waren diese Schwankungen ohne Einfluss auf die Ergebnisse.

45 bis 55 Minuten nach Beginn der Einbettung wurden die Papiermanschetten von den Gusszylindern abgenommen und die Einbettgeräte entfernt. Die Muffeln kamen dann in einen gasbeheizten Trockenschrank. Bei einer Temperatur von 200° bis 250° C wurde das Wachs ausgetrieben und die Gussküvetten wurden 45 min lang getrocknet.

Ein elektrischer Vorwärmeofen (Hazet mit Denta-Regler Firma Mihm-Vogt Karlsruhe (116)) wurde auf die konstante Temperatur von 700° C eingestellt; bei Angussversuchen betrug die Vorwärmtemperatur 750° C. Um die Einbettmasse möglichst gleichmässig zu durchglühen, wurden die Gussküvetten im Ofeninnern zentral gelagert.

Nach 25 bis 35 Minuten Vorwärmung wurde im Kohletiegel der elektrisch beheizten DEGUSSA-Tiegelschleuder ca. 7 g Degulor M verflüssigt, dann die vorgewärmte Gussmuffel aus dem Ofen genommen und gegossen.

Die Gussverzugszeit betrug durchschnittlich 5 sec. Es muss hier noch erwähnt werden, dass die Feder der Degussa-Tiegelschleuder bei Teleskopkronen mit 3 Umdrehungen, bei Angusskronen mit nur 2 Umdrehungen gespannt wurde; welche Bedeutung dieser Massnahme zukommt soll bei der Besprechung der Angusskronen dargestellt werden.

Sämtliche Gussobjekte sind in der Form an der Luft bis auf Raumtemperatur abgekühlt und sodann ausgebetet worden. Durch die Asbestauskleidung liess sich die Einbettmasse im ganzen aus der Muffel herausnehmen und durch Abbrechen des Einbettmassenzylinders konnte das Gussobjekt von Hand freigelegt werden. Um jegliche Beschädigung insbesondere des Kronenrandes zu vermeiden, haben wir die Gussobjekte nur mit Holzstift und Bürste von anhaftender Einbettmasse befreit.

Nach dem Absäuern in 10 %iger Schwefelsäure entfernten wir unter einem Mikroskop eventuell anhaftende Gussperlchen und anschliessend wurde vermessen.

Die Vermessung der Gussobjekte: Sämtliche Gussobjekte haben wir mit einem ZEISS-Messmikroskop Nr. 50 vermessen. Das Mikroskop vergrößert das Modell ca. 30 fach und erlaubt eine Messgenauigkeit von $\pm 0,01$ mm. Auf dem Messtisch des Mikroskopes wurde für unsere Versuche ein kleiner Schraubstock befestigt, in den jeweils die Stahldrehkörper eingespannt werden konnten; damit waren die Vermessungsbedingungen für alle Gussobjekte gleich.

Gemessen wurde der nach dem Guss auftretende Spalt zwischen Vermessungsstufe und Kronenrand.

Bei den Teleskopkronen musste festgestellt werden, dass trotz sorgfältigstem Modellieren das Wachs nicht überall gleichmässig und glatt der Vermessungsstufe angelegt werden konnte. Diese geringen Unebenheiten des Wachsmodells bedingten bei der gegossenen Teleskopkrone, dass beim Aufsetzen auf das Stahlmodell die Spaltbreite an verschiedenen Stellen des Umfangs Schwankungen aufwies. Bei diesen Differenzen ist zweifellos auch ein Verkantungseffekt beim Aufsetzen der Krone zu berücksichtigen. Um diese Fehlerquellen weitgehend auszuschalten, haben wir die Spaltbreite aus dem Mittelwert von 4 Messungen an verschiedenen Stellen des Umfangs ermittelt.

Wie schon erwähnt, haben wir sowohl die Stahlmodelle als auch die Degulor-I-Ringe mit jeweils 3 nebeneinanderliegenden Ritzen versehen. Bei der Vermessung wurde die mittlere Kerbe des Stahlmodells mit der mittleren Kerbe des Ringes zur Deckung gebracht.

Um die Fehlerquellen des Verkantungseffektes bei den Angusskronen messtechnisch ausgleichen zu können, haben wir an den Stahlmodellen für Angusskronen an 3 Stellen, die jeweils um 120° versetzt sind, in ähnlicher Weise Messkerben angebracht. Während wir an einer Stelle die Kerben von Ring und Stahlmodell aufeinander eingestellt hatten, ermittelten wir die beiden anderen Werte der Spaltbreite indem die Verlängerungslinie der im Stahlmodell eingeritzten Kerben von der Vermessungsstufe bis zum Kronenrand vermessen wurde.

Durch das schon erwähnte ungleichmässige Aufsitzen des Degulor-i-Ringes auf dem Stahlmodell, mussten diese Messungen jeweils vor und nach dem Guss vorgenommen werden. Zur Ermittlung der eigentlichen Zunahme der Spaltbreite nach dem Guss wurde der ursprüngliche Wert abgezogen.

(Die 3 fache Messung der Spaltbreite bei Angusskronen wurde im Laufe der Versuche verlassen, weil die Differenzen nach Abzug der ursprünglichen Spaltbreite $0,03$ mm nicht überschritten und somit keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen haben konnten; wir beschränkten uns daher bei den Angusskronen auf jeweils eine Messung vor und nach dem Guss.)

DIE MESSUNGEN

Aus Gründen der Übersichtlichkeit haben wir eine Zusammenstellung der einzelnen Versuchsreihen aufgeführt, und wir wollen bei der Besprechung der einzelnen Serien auf die jeweiligen Ziffern folgender Gliederung zurückgreifen.

GLIEDERUNG DER MESSUNGEN

I. Vorversuche

1. Degulor-i-Ring mit Metallband verschiedener Breite umgossen
2. Das Auftreten von Gusslamellen bei Gusskronen
3. Die Verhinderung der Entstehung von Gusslamellen.

II. Hauptversuche

1. Hauptteil: Die Passgenauigkeit von Teleskopkronen
 - a) Teleskopkronen mit 0,5 mm Wandstärke
 - b) Teleskopkronen mit 1,0 mm Wandstärke
 - c) Nebenergebnis zu b) (Wachsverzerrung)
2. Hauptteil: Die Passgenauigkeit von Angusskronen
 - a) Angusskronen mit 3,8 mm Ringhöhe;
Wandstärke des angegossenen Teiles 1 mm
 - b) Angusskronen mit 3,8 mm Ringhöhe;
Wandstärke des angegossenen Teiles 0,5 mm
 - c) Angusskronen mit 6 mm Ringhöhe;
Wandstärke des angegossenen Teiles 1 mm
 - d) Angusskronen mit 6 mm Ringhöhe;
Beim Modellieren Zinnfolie im Bereich der Übergangsstelle Ring-Anguss; Wandstärke des angegossenen Teiles 1 mm
 - e) Angusskronen mit 8 mm Ringhöhe;
Wandstärke des angegossenen Teiles 1 mm
 - f) Angusskronen mit 8 mm Ringhöhe;
Wandstärke des angegossenen Teiles 1,5 mm

ABBILDUNG 5

Teleskopkronen: Wandstärke 0,5 mm
Eingebettet in Kerr-Cristobalite, die Muffeln jeweils mit 0,5 mm
Asbest ausgekleidet.

ABBILDUNG 6

Teleskopkronen: Wandstärke 0,5 mm
Eingebettet in Bayer-Duroterm, die Muffeln jeweils mit 0,5 mm
Asbest ausgekleidet.

ABBILDUNG 7

Teleskopkronen: Wandstärke 0,5 mm
Eingebettet in Kerr-Cristobalite, die Muffeln jeweils mit 1,0 mm
Asbest ausgekleidet.

ABBILDUNG 8

Teleskopkronen: Wandstärke 0,5 mm
Eingebettet in Bayer-Duroterm, die Muffeln jeweils mit 1,0 mm
Asbest ausgekleidet.

ABBILDUNG 9

Teleskopkronen: Wandstärke 1,0 mm
Eingebettet in Kerr-Cristobalite, die Muffeln jeweils mit 1,0 mm
Asbest ausgekleidet. Beim Modellieren wurde das Wachs überdehnt.

ABBILDUNG 10

Teleskopkronen: Wandstärke 1,0 mm
Eingebettet in Kerr-Cristobalite, die Muffeln jeweils mit 1,0 mm
Asbest ausgekleidet.

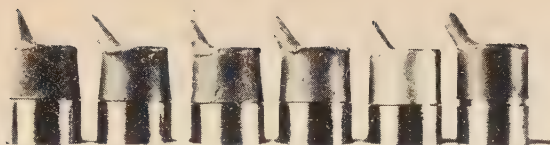


Abb. 5



Abb. 6

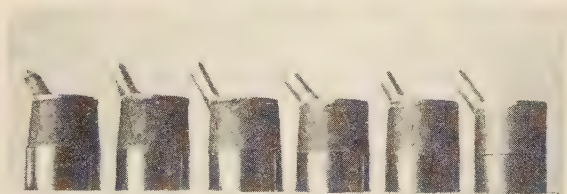


Abb. 7

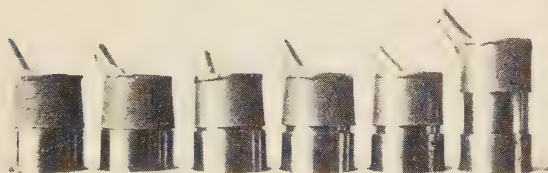


Abb. 8

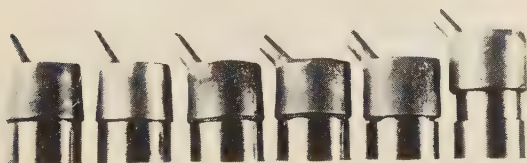


Abb. 9



Abb. 10

5° 4° 3° 2° 1° 0°



Abb. 11



Abb. 12

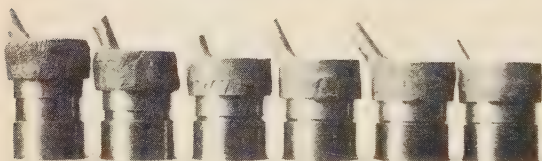


Abb. 13



Abb. 14

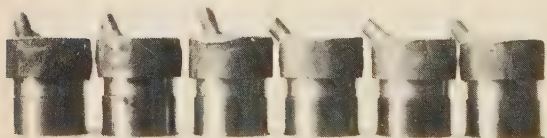


Abb. 15



0° 1° 2° 3° 4° 5°

Abb. 16

ABBILDUNG 11

Angusskronen: Ringhöhe ca. 3,8 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

Gussobjekt eingebettet in Kerr-Cristobalite.

ABBILDUNG 12

Angusskronen: Ringhöhe ca. 3,8 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

Gussobjekte eingebettet in Bayer-Duroterm.

ABBILDUNG 13

Angusskronen: Ringhöhe ca. 6 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

Gussobjekte eingebettet in Kerr-Cristobalite.

ABBILDUNG 14

Angusskronen: Ringhöhe ca. 6 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

Gussobjekte eingebettet in Bayer-Duroterm.

ABBILDUNG 15

Angusskronen: Ringhöhe ca. 8 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

Gussobjekte eingebettet in Kerr-Cristobalite.

ABBILDUNG 16

Angusskronen: Ringhöhe ca. 8 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 1 mm.

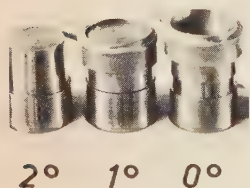
Gussobjekte eingebettet in Bayer-Duroterm.

I. Vorversuche

1. Unsere Untersuchungen gingen von der Frage aus, ob ein Degulor-i-Ring beim Angiessen verformt wird. Zur Klärung dieses Problems haben wir einen 8 mm hohen Ring mit einer 1 mm dicken Wachsmanschette verschiedener Breite versehen. Die Objekte wurden mit Kerr-Cristobalite in Muffeln eingebettet, die mit 1 Lage (0,5 mm) Asbest ausgekleidet waren; gegossen wurde in der elektrisch beheizten Tiegelschleuder mit Degulor M.

Das Wachsband, das den Ring umgab, war jeweils 2 mm, 4 mm und 6 mm vom Ringrand übermodelliert; auf einen Kronendeckel wurde verzichtet.

Jeweils 3 Versuche zeigten eindeutig, dass der Ring durch das angegossene Band gestaucht wurde. Das Aufschieben des Ringes auf einen zylindrischen Stahldrehkörper, auf den er vor dem Guss mit sicherer Führung aufgeschoben werden konnte, war nur bis zu der angegossenen Manschette möglich.



In 3 Parallelversuchen haben wir bei gleichen Einbettungs- und Gussbedingungen statt Degulor M, als Gusslegierung Degulor i genommen; die Ergebnisse zeigten gegenüber den ersten Versuchen keinen Unterschied. Wie Abb. 17 zeigt, konnten die Gussobjekte jedoch auf den konischen Stahldrehkörper mit 1° Neigungswinkel bis zur Vermessungsstufe aufgesetzt werden.

ABBILDUNG 17
Degulor-i-Ring mit
Band umgossen

Aus den unterschiedlichen Dimensionen der Modellstümpfe (0° - und 1° -Modell) lässt sich ermitteln, dass die Stauchung des Ringes höchstens 0,5 % betragen könnte.

Nach Berechnungen, die im einzelnen nicht näher angeführt werden sollen, dehnt sich der eingebettete Degulor-i-Ring während des Vorwärmes um etwa 1 % aus; andererseits beträgt die Schwindung von Degulor M im Temperaturgefälle von 700° bis 20°C ca. 1,25 %. Es wäre also höchstens eine Stauchung des Degulor-i-Ringes von 0,25 % zu erwarten. Nach entsprechenden theoretischen Überlegungen könnte man bei Verwendung von Degulor i als Gusslegierung mit einer Stauchung von ca. 0,45 % rechnen.

2. Bei den ersten Versuchen mit Angusskronen war nach dem Guss der Innenfläche des eingebetteten Degulor i-Ringes eine dünne Gussmetallschicht unterschiedlicher Flächenausdehnung aufgelagert.

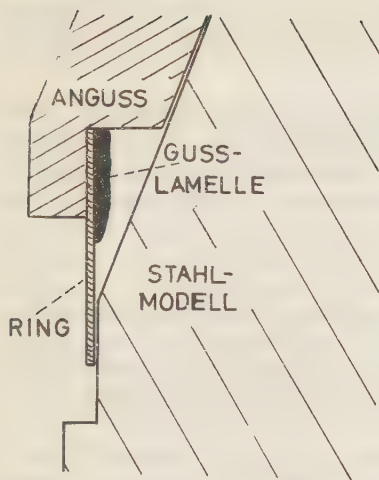


ABBILDUNG 18
Schematische Darstellung der
Gusslamelle bei Angusskronen

tionswinkel des Stumpfes zu stehen, denn bei den Güssen, die auf einem Drehkörper mit 5° Neigungswinkel modelliert wurden, waren die Gusslamellen flächenmässig am grössten und bei allen Versuchen aufgetreten. Beim 1° -Stumpf fand man noch Andeutungen der Lamelle, während bei den Angusskronen, die auf dem zylindrischen Stumpf modelliert wurden, nie Gusslamellen entstanden.

Mit zunehmendem Neigungswinkel des Modells wird der Spalt zwischen zylindrischem Ring und konischem Modellstumpf an der Oberkante des Ringes grösser. Beim genauen Anlegen des Wachses an den Stahlstumpf entsteht an der Oberkante beim Modellieren eine Stufe und darunter zwischen Ring und Stumpf ein ringförmiger Dreikantraum (siehe Abb.18). Bei Kronen, die auf dem 5° -Stumpf modelliert wurden, ist die Stufe und der Dreikantraum am grössten, während sie beim zylindrischen Modell fehlen.

Da nun bei Verwendung des zylindrischen Stumpfes keine Gusslamellen auftreten, wir andererseits beim 5° -Stumpf die häufigsten und ausgedehntesten Gusslamellen finden, kann die Breite der Stufe bzw. die Grösse des Dreikantraumes für das Auftreten und die Ausdehnung der Gusslamelle verantwortlich gemacht werden.

Zum Unterschied von Gussfahnen, die durch Sprünge und Risse in der Einbettmasse entstehen, wobei während des Giessens die flüssige Schmelze in die kapillaren Spalten hineingepresst wird, möchten wir diese eigenartige Erscheinung bei Angusskronen im folgenden als Gusslamelle bezeichnen (Abb.18).

Die Ausdehnung der Gusslamelle war durchschnittlich auf ein Viertel des inneren Ringumfanges beschränkt, und erstreckte sich bis zur Hälfte der Ringhöhe. In wenigen Fällen jedoch bedeckte die Lamelle den halben Umfang der Fläche, wobei sie teilweise bis zum unteren Ringrand reichte; bei manchen Kronen fehlte diese Gusslamelle völlig.

Die Ausdehnung der Gusslamelle schien in einem gewissen Zusammenhang mit dem Präpara-

Diese Gusslamellen konnten mit einem Skalpell ohne Schwierigkeiten von der Ringinnenwand abgelöst werden, d.h. die dünnen Metallschichten hatten sich nicht mit dem Ring verbunden. Wir konnten einige Gusslamellen ausschneiden und ihre Stärke mit 0,02 bis 0,05 mm feststellen.

Beim Aufsetzen der Angusskronen auf die Stahlmodelle wiesen die Gusslamellen, mit Ausnahme der wenigen Fälle, bei denen sich die Metallschicht bis zum Kronenrand ausdehnte, nur selten Glanzstellen auf, d.h. sie beeinträchtigten in unserer Versuchsanordnung die Passgenauigkeit nur unwesentlich.

3. Die Ursache der Entstehung der Gusslamellen kann man wohl auf die unterschiedliche Expansion (und Kontraktion) von Ring und Einbettmasse zurückführen. Wir versuchten dieses Problem zu lösen, indem wir in folgenden 4 Einbettmassen Angusskronen herstellten.
1. Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment, als weiche Masse hoher thermischer Expansion und geringer Abbindeexpansion (Vakuumeinbettung)
2. Dentaurem-E 316, als besonders harte Masse mit hoher thermischer Expansion (Schichtkerneinbettung)
3. Bayer-Duroterm-normal, mit hoher Abbindeexpansion (Schichtkern- und Vakuumeinbettung)
4. R u. R-Aquaskopic; eine Masse mit hohem hygroskopischem Expansionswert und geringer Vorwärmtemperatur (ca. 500°C) (eigene Einbettungsvorschrift: kontrollierte Wasserzugabe und Einbetten in Gummiküvette).

Die Untersuchungen erbrachten nicht den erwarteten Effekt. Wohl war die Passgenauigkeit und Oberflächenglätte der Angusskronen unterschiedlich, aber die Gusslamelle konnte in keinem der Versuche beseitigt werden.

Ohne die Ursachen der Gusslamelle geklärt zu haben, konnten wir die Ausbildung der Lamellen dadurch verhindern, dass die Feder der Tiegelschleuder zum Guss anstatt mit 3 Umdrehungen nur mit 2 Umdrehungen gespannt wurde.

Die verminderte Zentrifugalkraft war für ein tadelloses Ausfließen der Gussobjekte immer noch ausreichend. Die Frage, ob dadurch der Anguss beeinträchtigt wird, muss wohl dahingehend beantwortet werden, dass der Anguss insbesondere von der Vorwärme- und Giesstemperatur und von den Mengenverhältnissen der Metalle abhängig ist; (WAGNER (179), KÜHL (98), MAAS und EIFINGER (40)); der Schleuderdruck ist sicherlich von untergeordneter Bedeutung.

II. Hauptversuche

Wie zu erwarten ist und in den Vorversuchen bestätigt wurde, ist die Passgenauigkeit von Angusskronen, wie bei allen anderen Gussobjekten von der Einbettmasse und ihrer Verarbeitung abhängig.

Die Angusskronen, -vorallem bei Verwendung eines niederen Ringes-, kann man unterteilen in einen mit einem Metallband umgossenen Ring und den oberen Teil der Krone als eine Art Teleskopkrone auffassen. Wenn wir nun etwas über die Passgenauigkeit von Angusskronen aussagen wollen, muss in erster Linie die Frage geklärt werden, inwieweit es möglich ist, eine klinisch brauchbare Teleskopkrone herzustellen. So ist es Ziel des 1. Hauptteils eine Gusskappe in der Art einer Teleskopkrone hoher Präzision herstellen zu können.

Der 2. Hauptteil versucht, die gewonnenen Ergebnisse auf die Versuche mit Angusskronen zu übertragen.

1. Hauptteil

a) Eine Serie Teleskopkronen mit einer Wandstärke von 0,5 mm wurde unter gleichen Bedingungen in Bayer-Duroterm-normal und Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment eingebettet; die Muffeln sind mit 1 Lage (0,5 mm) bzw. 2 Lagen (1,0 mm) eingefettetem Asbeststreifen ausgekleidet worden. Vorwärmtemperatur und Gussbedingungen waren bei allen Versuchen gleich.

Zusammenfassung der Messergebnisse an 113 Teleskopkronen mit 0,5 mm Wandstärke:

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Spaltbreite in mm					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	3,65	0,49	0,25	0,19	0,17	0,15
	1,0 mm Asbest	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Duro- term	0,5 mm Asbest	6,00	1,35	0,94	0,60	0,46	0,39
	1,0 mm Asbest	5,88	1,20	0,83	0,54	0,35	0,25

TABELLE 4

(Aus drucktechnischen Gründen musste auf die Darstellung der Einzelmessergebnisse der Tabellen 4 bis 12 verzichtet werden; sie können vom Verfasser zur Einsichtnahme angefordert werden.)

Ergebnis: (Abb. 5 bis 8)

Die Passgenauigkeit von Teleskopkronen ist abhängig von der verwendeten Einbettmasse; von der Dicke der Asbestschicht in der Muffel und der damit verbundenen Möglichkeit, die Expansion einer Einbettmasse zur Auswirkung kommen zu lassen. Wie aus theoretischen Überlegungen zu erwarten ist, wird ausserdem die Passgenauigkeit wesentlich durch den Neigungswinkel des Modellstumpfes bestimmt.

b) In einer weiteren Untersuchungsreihe mit Teleskopkronen interessierte uns insbesondere, ob die Wandstärke der Gussteile einen Einfluss auf die Passgenauigkeit auszuüben vermag. Zu diesem Zweck gossen wir unter gleichen Bedingungen Teleskopkronen mit einer Wandstärke von 1,0 mm.

Die Untersuchungsergebnisse an 104 Teleskopkronen (Wandstärke 1,0 mm) sind in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Spaltbreite in mm					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	3,80	0,51	0,26	0,22	0,20	0,16
	1,0 mm Asbest	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Duro- term	0,5 mm Asbest	6,10	1,54	0,96	0,62	0,47	0,38
	1,0 mm Asbest	5,95	1,24	0,84	0,56	0,38	0,27

TABELLE 5

Ergebnis: (u.a. Abb. 10)

Wie aus den Tabellen 4 und 5 hervorgeht, ist die Wandstärke für die Passgenauigkeit von Teleskopkronen von untergeordneter Bedeutung; die Ergebnisse von DREYER-JØRGENSEN (35) finden ihre Bestätigung.

c) Nebenergebnis: u.a. Abb. 9

Im Laufe der Untersuchungen wurden bei einer Versuchsreihe die vorgeformten Wachsteile um geringe Beträge zu klein ausgeschnitten. Wir glaubten diesen Fehler dadurch beseitigen zu können, dass wir beim Anlegen an den Modellstumpf den Wachsstreifen (ca. 30 mm lang) etwa um 2 mm dehnten. So unterschieden sich die modellierten Teleskopkronen rein äusserlich nicht von den übrigen

Wachsobjekten. Wir haben bei diesen Modellen den selben Arbeitsgang beschritten, aber wie die Messergebnisse zeigten, erhielten wir völlig andere Werte und die Passgenauigkeit war wesentlich ungünstiger. Der Grund für das schlechtere Ergebnis dürfte allein darin zu suchen sein, dass das verwendete Plattenwachs beim Anlegen an den Stumpf zu sehr gedehnt wurde, die Entspannung der Wachsmodele im Wasserbad bei 30° bis 35°C (15 min lang) unvollkommen war und die Überdehnung des Wachses daher nicht ausgeglichen wurde.

Bei diesen Versuchen wurden die Objekte mit Kerr-Cristobalite in Muffeln mit 2 Lagen (1,0 mm) Asbestauskleidung eingebettet. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu haben, wurden diese "Fehlversuche" mit Bayer-Duroterm-normal wiederholt.

Zusammenfassung der Messergebnisse von 89 Teleskopkronen mit 1,0 mm Wandstärke, bei denen beim Modellieren das Wachs gedehnt wurde (um ca. 6 %).

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Spaltbreite in mm					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	-/-	1,02	0,43	0,34	0,21	0,17
	1,0 mm Asbest	4,82	0,89	0,40	0,27	0,10	0,09
Duro- term	0,5 mm Asbest	-/-	2,42	1,15	0,79	0,61	0,46
	1,0 mm Asbest	5,75	2,06	1,06	0,66	0,44	0,37

TABELLE 6

(-/- = Gussobjekte lassen sich nicht auf den Stahlstumpf aufsetzen).

Aus diesen Nebenergebnissen ist zu folgern, dass der Wachsverarbeitung grösstmögliche Sorgfalt geschenkt werden muss und Dehnungen oder Stauchungen zu vermeiden sind. Andererseits müssen wir zu der Überzeugung kommen, dass alle Untersuchungen über die Passgenauigkeit von Gusskappen, die in mannigfacher Weise in der Literatur beschrieben wurden, nur mit Vorsicht zu bewerten sind, falls nicht exakte Angaben über die Wachsverarbeitung beim Modellieren der Gussobjekte gemacht werden.

2. Hauptteil

Wie wir schon erwähnt haben, könnte man eine Angusskrone unterteilen in einen Kauflächenteil von der Form einer Gusskappe und einen mit einem Metaliband umgossenen Ringteil. Auf Grund dieser Überlegungen und den Ergebnissen aus den vorangegangenen Ab-

schnitten werden wir mit unterschiedlicher Passgenauigkeit rechnen müssen, wenn wir für denselben Modellstumpf eine Angusskrone mit hohem Ring und entsprechend kleiner Gusskappe, oder mit niederem Ring und dementsprechend ausgeprägtem Gussteil giessen werden. Mit der Klärung dieser Frage haben wir uns in den folgenden Abschnitten befasst.

- a) Eine Serie Angusskronen, deren Ringhöhe ca. 3,8 mm betrug, wobei der anmodellerte Wachshut eine Wandstärke von 1,0 mm aufwies, wurde unter gleichen Bedingungen in Bayer-Duroterm-normal und Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment eingebettet. Die Muffeln wurden jeweils mit 2 Lagen (1,0 mm) eingefettetem Asbestpapier ausgekleidet, die Temperatur des Vorwärmeofens war auf 750°C eingestellt. Die Gussbedingungen für Angusskronen waren insofern von denen für Teleskopkronen abweichend, als zur Vermeidung einer Gusslamelle die Feder der Degussa-Tiegelschleuder statt mit 3 nur mit 2 Umdrehungen gespannt wurde.

Zusammenfassung der Messergebnisse von 42 Angusskronen mit Ringhöhe ca. 3,8 mm und 1,0 mm Wandstärke des angesonnen Teils; der sichtbare Bereich des Degulor-i-Ringes beträgt 2,2 mm.

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	-/-	1,55	0,83	0,57	0,55	0,40
Duroterm 1,0 mm Asbest	-/-	2,19	1,11	0,82	0,63	0,57

TABELLE 7

(-/- = Gussobjekte lassen sich nicht auf den Stahlstumpf aufsetzen).

Ergebnis: (Abb. 11 u. 12)

Die Passgenauigkeit der Angusskronen mit niederem Ring (3,8 mm) ist in unserer Versuchsanordnung unbefriedigend.

- b) Um beurteilen zu können, ob bei Angusskronen die Dicke des anmodellierten Teiles die Passgenauigkeit beeinflusst, haben wir Kronen mit einer Wandstärke des Wachshutes von 0,5 mm modelliert; im übrigen wurden die gleichen Versuchsbedingungen beibehalten.

Zusammenfassung der Messergebnisse von 19 Angusskronen mit Ringhöhe ca. 3,8 mm, Wandstärke des anmodellierten Teiles 0,5 mm; der sichtbare Bereich des Degulor-i-Ringes beträgt 2,2 mm.

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	3,80	0,86	0,51	0,37	0,26	0,20
Duroterm 1,0 mm Asbest	3,92	1,16	0,58	0,45	0,32	0,26

TABELLE 8

Ergebnis:

Bei Angusskronen mit niederem Ring (3,8 mm) konnten wir durch Vermindern der Wandstärke des angegossenen Teiles eine Verbesserung der Passgenauigkeit erzielen. (Weitere Untersuchungen müssten zur Klärung dieser Frage beitragen.)

- c) In einer weiteren Versuchsreihe wurden Angusskronen gegossen mit einer Ringhöhe von 6 mm. Der anmodellierte Teil der Krone hatte eine Wandstärke von 1,0 mm; der noch sichtbare Bereich des Degulor-i-Ringes ist 3 mm breit.

Zusammenfassung der Messergebnisse an 55 Angusskronen Ringhöhe 6 mm, Wandstärke 1,0 mm, sichtbarer Bereich des Degulor-i-Ringes 3 mm).

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	1,60	1,01	0,59	0,34	0,27	0,22
Duroterm 1,0 mm Asbest	2,23	1,34	0,86	0,60	0,47	0,34

TABELLE 9

Ergebnis: (Abb.13-14)

Im Vergleich zu den Angusskronen mit niederem Ring (3,8 mm) darf die Passgenauigkeit der Angusskronen mit hohem Ring (6 mm) bei gleicher Wandstärke des anmodellierten Kronenteiles als wesentlich grösser bezeichnet werden.

d) Nebenversuch:

Um die Restkontraktion dieser Angusskronen grössenordnungsmässig zu erfassen, haben wir die Modellstümpfe vor dem Modellieren im Bereich der Übergangsstelle vom Ring zum angegossenen Teil mit einem 0,08 mm dicken Zinnfolienstreifen von 3 mm Breite belegt. (Die Bedeutung der Übergangsstelle ist schon besprochen worden.)

Zusammenfassung der Messergebnisse an 8 Angusskronen (Ringhöhe 6 mm, Wandstärke 1,0 mm, sichtbarer Bereich des Ringes 3 mm; Modellstumpf mit Zinnfolie belegt.)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest				0,01	0,02	0,01
Duroterm 1,0 mm Asbest				0,02	0,02	0,02

TABELLE 10

Ergebnis:

Mit dieser Methode konnten die Angusskronen vor und nach dem Guss in gleicher Weise auf die Modellstümpfe aufgesetzt werden.

e) In einer dritten Versuchsreihe haben wir Angusskronen gegossen, deren Ringhöhe ca. 8 mm betrug, d.h. der Ring überragte jeweils den Modellstumpf um etwa 0,5 mm. Beim Modellieren wurde dem Ring ein 1 mm dicker Wachsdeckel so aufgelegt, dass dieser die Oberfläche des Stumpfes berührte. Da wir bei allen Versuchen das Wachs in plastischem Zustand verarbeitet haben, war auch bei dieser Versuchsreihe keine Möglichkeit gegeben, dass der Spalt zwischen zylindrischem Ring und konischem Stumpf durch unkontrollierbare Wachseinschlüsse ausgefüllt wurde. Das Wachsband, das den Ring umgab, hatte eine Stärke von 1 mm und war so modelliert, dass der Ring 3 mm sichtbar war.

Theoretisch hätte man alle Kronen dieser Versuchsreihe auf einem Stumpf modellieren, und nach dem Guss die unterschiedliche Passgenauigkeit auf den verschiedenen Modellen feststellen können; praktisch erwies es sich aber als vorteilhafter, jeweils zum Modellieren und Vermessen die selben Modelle zu benützen, da bei den einzelnen Versuchen sich vielfach die obere Fläche des Drehkörpers in geringem Masse in den Wachsdeckel eindrückte und nach dem Guss zu unterschiedlichen Resultaten hätte führen können.

Zusammenfassung der Messergebnisse an 33 Angusskronen (Ringhöhe 8 mm, Wandstärke des angegossenen Teiles 1 mm; sichtbarer Bereich des Ringes 3 mm.)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
Duroterm 1,0 mm Asbest	3,05	1,09	0,15	0,04	0,03	0,03

TABELLE 11

Ergebnis: (Abb. 15 u. 16)

Bei den 3 verschiedenen Versuchsserien mit Angusskronen verschiedener Ringhöhe ist die Passgenauigkeit der Kronen am grössten, bei denen der angussfähige Ring der Höhe des Modells entspricht.

f) Nachdem es in der vorangegangenen Versuchsserie gelang, mit der Einbettmasse Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment Angusskronen herzustellen, die beim Guss praktisch keiner Kontraktion unterworfen wurden, interessierte uns in einer letzten Versuchsreihe, wie dick die Wandstärke des angegossenen Teiles sein kann, um praktisch brauchbare Angusskronen herstellen zu können.

Aus diesem Grunde gossen wir 9 Angusskronen mit einer Ringhöhe von 8 mm, wobei die Wandstärke des anmodellierten Teiles 1,5 mm betrug.

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Spaltbreite in mm					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	4,84	1,62	0,29	0,03	0,01	0,01

TABELLE 12

Ergebnis:

Angusskronen mit 8 mm Ringhöhe, deren angegossener Teil eine Wandstärke von 1,5 mm aufweist, sind nur zu verwenden, wenn der Präparationswinkel des Modells 3° und darüber beträgt.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bei den vorangegangenen Versuchen entstanden Teleskop- und Angusskronen unterschiedlicher Passgenauigkeit. Um Vergleiche mit anderen Untersuchungsergebnissen anstellen zu können, ist nunmehr die Frage zu beantworten, um welchen Prozentsatz sich die verschiedenen Kronen in Bezug auf ihr Ausgangsmodell kontrahiert haben (Restkontraktion nach SCHAEFFNER (142)).

Weiterhin können wir die Passgenauigkeit der verschiedenen Kronenarten miteinander vergleichen und deren Präzision in Beziehung setzen zu der von DREYER-JØRGENSEN (35) auf der Grundlage klinischer Untersuchungen geforderten Passgenauigkeit.

Entsprechend der unterschiedlichen Abmessungen der Stahlmodelle müssen wir die Berechnung der verschiedenen Kontraktionswerte auf folgenden mathematischen Beziehungen aufbauen.

1. Die Berechnung der prozentualen Kontraktion gegossener Teleskopkronen;

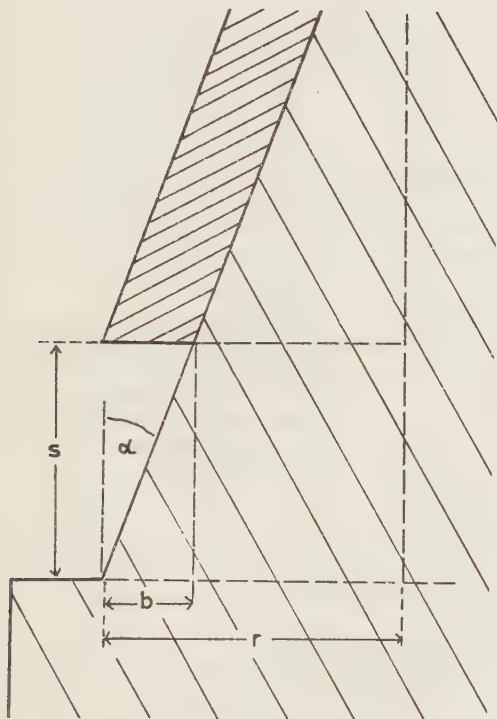


ABBILDUNG 19

Schematische Darstellung des konischen Stahldrehkörpers, dem eine Teleskopkronen nach dem Guss aufgesetzt ist.

ZEICHENERKLÄRUNG

- r = Radius des Stahldrehkörpers
 α = Neigungswinkel des konischen Modells
 s = Spaltbreite zwischen Gussobjekt und Vermessungsstufe
 b = Verkleinerung des Radius der gegossenen Teleskopkronen

Zur Berechnung der prozentualen Kontraktion (x) von Teleskopkronen bestehen gemäss Abb.19 folgende Beziehungen:

$$b = \operatorname{tg} \alpha \cdot s \qquad r : 100 = b : x$$

$$x = \frac{100 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot s}{r} (\%)$$

Nach der angegebenen Formel können wir für Teleskopkronen entsprechend den Tabellen 4 bis 6 die Kontraktionswerte in Prozent angeben.

2. Die Berechnung der prozentualen Kontraktion von Angusskronen verschiedener Ringhöhe:

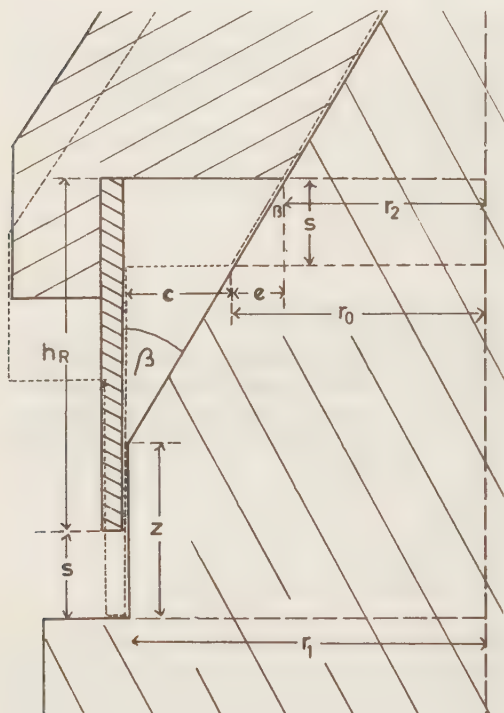


ABBILDUNG 20

Schematische Darstellung des zylindrisch-konischen Stahldrehkörpers dem eine Angusskrone nach dem Guss aufgesetzt ist.

ZEICHENERKLÄRUNG

- r_1 ■ stellt den Radius des Stahldrehkörpers dar,
- z ■ ist das zylindrische Verlängerungsstück, mit
- β ■ ist der Neigungswinkel des konischen Modellteiles bezeichnet.
- ■ der Umriss der Krone vor dem Guss ist gestrichelt
- h_R ist die Höhe des Degulor-i-Ringes,
- c die Breite der durch die Modellierung entstandenen Wachsstufe.
- Es muss vorausgesetzt werden, dass die modellierte Wachsstufe (c) horizontal zu liegen kommt und das Wachs in Höhe des oberen Ringrandes dem Stahlmodell anliegt. Auf Grund der Modellierung der Gussobjekte, wobei jeweils ein vorgeformter Wachsstreifen in Höhe des oberen Ringrandes dem Stahldrehkörper angelegt und dadurch ein Aufschmelzen des Wachses vermieden werden konnte, darf angenommen werden, dass die Wachsstufe (c) in ihrem horizontalen Verlauf keine allzu grossen Abweichungen erfahren hatte. - Dann ist

- r_0 der Radius des Drehkörpers in Höhe des oberen Ringrandes, d.h. der Wachsstufe (c) vor dem Guss. Nach dem Guss: Auf die Beobachtung stützend, dass die gegossene Krone beim Aufsetzen auf das Stahlmodell zuerst an der Stufe c Glanzstellen am Metall aufweist, d.h. dem Stahldrehkörper zuerst anliegt, kann angenommen werden, dass sich c verlängert hat und die Ursache ist für
- s der Spaltbreite zwischen unterem Ringrand und der Vermessungsstufe des Modells.
- e entspricht der Verlängerung von c, d.h. es stellt die lineare Kontraktion der Krone dar;
- r_2 ist der Durchmesser des Stahlmodells in Höhe des oberen Ringrandes und der Angussstufe (c + e) nach dem Guss.

Zur Berechnung der prozentualen Kontraktion von Angusskronen bestehen gemäss Abb. 20 folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} \text{tg}\beta &= \frac{c}{h_R - z} & c &= \text{tg}\beta (h_R - z) \\ r_0 &= r_1 - c & r_0 &= r_1 - \text{tg}\beta (h_R - z) \\ \text{tg}\beta &= \frac{ee}{s} & e &= \text{tg}\beta \cdot s \\ r_0 : 100 &= e : x \end{aligned}$$

$$x = \frac{100 \cdot \text{tg}\beta \cdot s}{r_1 - \text{tg}\beta (h_R - z)}$$

Nach den angegebenen Formeln können wir nun für die verschiedenen Versuchsserien von Teleskop- und Angusskronen die Kontraktionswerte berechnen. Der dargestellte Wert entspricht der Restkontraktion.

1. Teleskopkronen: Wandstärke 0,5 mm
(nach Tabelle 4 S. 63)

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Restkontraktion in %					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	-	0,17	0,18	0,20	0,24	0,27
	1,0 mm Asbest	-	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Duro- term	0,5 mm Asbest	-	0,48	0,67	0,64	0,66	0,69
	1,0 mm Asbest	-	0,43	0,59	0,58	0,50	0,45

TABELLE 13

2. Teleskopkronen: Wandstärke 1,0 mm
(nach Tabelle 5 S. 64)

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Restkontraktion in %					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	-	0,18	0,19	0,23	0,28	0,28
	1,0 mm Asbest	-	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Duro- term	0,5 mm Asbest	-	0,50	0,68	0,66	0,67	0,68
	1,0 mm Asbest	-	0,44	0,60	0,60	0,54	0,48

TABELLE 14

3. Teleskopkronen: Wandstärke 1,0 mm (Wachsverzerrung)
(nach Tabelle 6 S. 65)

Neigungswinkel des Stahlstumpfes		0°	1°	2°	3°	4°	5°
		Restkontraktion in %					
Cristo- balite	0,5 mm Asbest	-	0,36	0,31	0,36	0,50	0,30
	1,0 mm Asbest	-	0,32	0,28	0,29	0,14	0,16
Duro- term	0,5 mm Asbest	-	0,86	0,82	0,84	0,87	0,82
	1,0 mm Asbest	-	0,73	0,75	0,70	0,63	0,66

TABELLE 15

A. Cristobalite - 0,5 mm Asbest

1. Teleskopkronen Wandst. 0,5 mm
2. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
3. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
(Wachsverzerrung)

B. Cristobalite - 1,0 mm Asbest

1. Teleskopkronen Wandst. 0,5 mm
2. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
3. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
(Wachsverzerrung)

C. Duroterm normal - 0,5 mm Asbest

1. Teleskopkronen Wandst. 0,5 mm
2. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
3. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
(Wachsverzerrung)

D. Duroterm normal - 1,0 mm Asbest

1. Teleskopkronen Wandst. 0,5 mm
2. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
3. Teleskopkronen Wandst. 1,0 mm
(Wachsverzerrung)

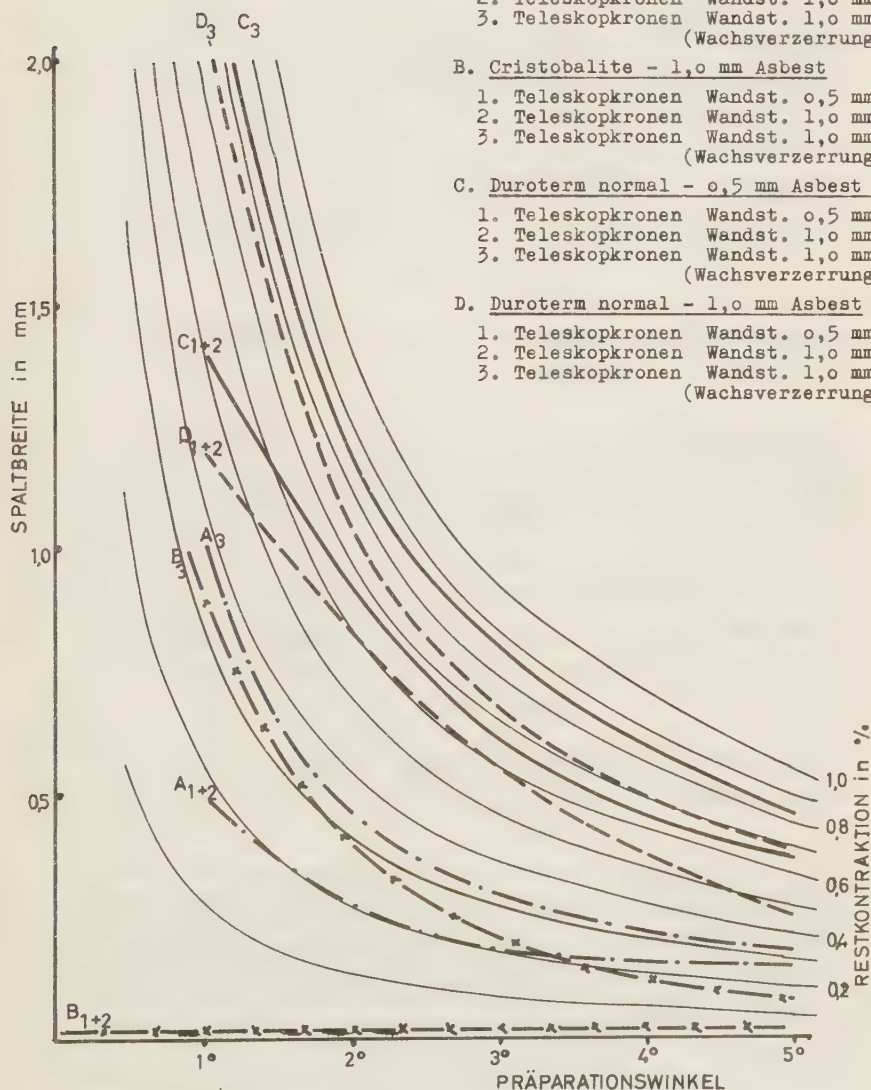


ABBILDUNG 21

Die Passgenauigkeit von Teleskopkronen. Zusammenfassende Darstellung der durchgeführten Versuchsreihen (schematisiert)

4. Angusskronen: Ringhöhe 3,3 mm, Wandstärke 1,0 mm
(nach Tabelle 7, S.66)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	-	0,56	0,61	0,64	0,82	0,76
Duroterm 1,0 mm Asbest	-	0,79	0,81	0,91	0,95	1,06

TABELLE 16

5. Angusskronen: Ringhöhe 3,8 mm, Wandstärke 0,5 mm
(nach Tabelle 8, S.67)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	-	0,31	0,37	0,41	0,39	0,38
Duroterm 1,0 mm Asbest	-	0,42	0,42	0,50	0,48	0,49

TABELLE 17

6. Angusskronen: Ringhöhe 6 mm, Wandstärke 1,0 mm
(nach Tabelle 9, S.67)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	-	0,37	0,43	0,38	0,41	0,42
Duroterm 1,0 mm Asbest	-	0,49	0,63	0,67	0,71	0,65

TABELLE 18

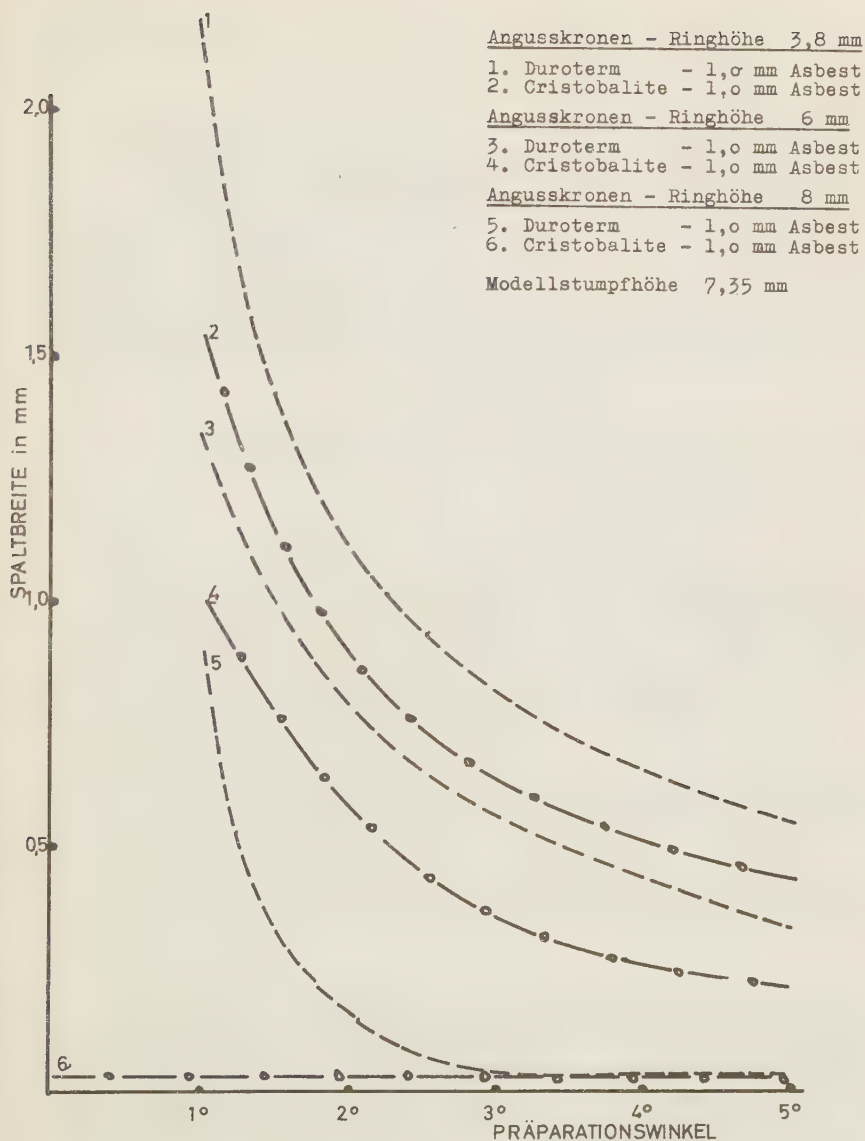


ABBILDUNG 22

Die Passgenauigkeit von Angusskronen. Zusammenfassende Darstellung der durchgeführten Versuchsreihen (schematisiert).

7. Angusskronen: Ringhöhe 6 mm, Wandstärke 1,0 mm (Zinnfolie)
(nach Tabelle 10, S.68)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest				0,01	0,03	0,02
Duroterm 1,0 mm Asbest				0,02	0,03	0,04

TABELLE 19

8. Angusskronen: Ringhöhe 8 mm, Wandstärke 1,0 mm
(nach Tabelle 11, S.69)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest	-	0,01	0,02	0,03	0,03	0,06
Duroterm 1,0 mm Asbest	-	0,40	0,11	0,05	0,05	0,06

TABELLE 20

9. Angusskronen: Ringhöhe 8 mm, Wandstärke 1,5 mm
(nach Tabelle 12, S.70)

Neigungswinkel des konischen Modellteiles	0°	1°	2°	3°	4°	5°
	Restkontraktion in %					
Cristobalite 1,0 mm Asbest		0,59	0,22	0,03	0,02	0,02

TABELLE 21

Was können wir nun aus vorangegangenen Tabellen und Diagrammen entnehmen?

In der Abb. 21, S. 75 wird besonders deutlich, dass bei Teleskopkronen die Spaltbreite mit zunehmender Neigung des Präparationswinkels abnimmt. Diese Erscheinung darf aber nicht den Eindruck erwecken, dass z. B. bei einem 5° -Modellstumpf die Restkontraktion kleiner, d. h. die Passgenauigkeit grösser sei. Aus diesem Grunde haben wir für die verschiedenen Modelle die Restkontraktion von 0,1 % - 1,0 % errechnet und in das Diagramm eingezeichnet. Wie der Abbildung zu entnehmen ist ändert sich die Restkontraktion in den jeweiligen Versuchsserien nur unwesentlich; die Restkontraktion aber gibt Aufschluss über das Expansionsverhalten der Einbettmassen. So lässt sich aus der Abbildung 21 entnehmen, dass in unseren Versuchen bei der Verwendung der Einbettmasse BAYER-Duroterm-normal die Restkontraktion mindestens 0,43 % betrug, so dass wir den Gesamtexpansionswert dieser Einbettmasse mit höchstens 1,12 % (nach Herstellerfirma 1,55 %) angeben müssen.

Die Diskrepanz zwischen den beiden Expansionswerten können wir nur so erklären, dass die Abbindeexpansion und die thermische Expansion jeweils getrennt ermittelt wurden und es stillschweigend vorausgesetzt worden ist, dass die Summe dieser beiden Werte die Gesamtexpansion ergibt; dass diese Voraussetzung nicht unbedingt zutreffen muss, wurde bereits auf S. 29 erwähnt.

In unseren Versuchen mit der Einbettmasse KERR-Cristobalite-Inlay-Investment konnten wir den von der Herstellerfirma angegebenen hohen Expansionswert erreichen, allerdings nur dann, wenn wir durch eine dicke Asbestauskleidung der Gussküvette die hohe Wärmeexpansion nicht behinderten.

Wie DREYER-JØRGENSEN auf der Grundlage klinischer Erfahrung angegeben hat, kann man eine Krone als klinisch brauchbar bezeichnen, wenn die Spaltbreite zwischen Zahn und Krone 0,05 mm nicht überschreitet. DREYER-JØRGENSEN macht dadurch die klinische Brauchbarkeit von der Restkontraktion der Gussobjekte weitgehend unabhängig und verlegt den Schwerpunkt des Gussproblems auf Gussgrösse und Präparationswinkel (siehe S. 8 ff).

Nach den eben genannten Forderungen können in unseren Versuchen mit Teleskopkronen nur 2 Serien (B₁₊₂) als klinisch brauchbar bezeichnet werden. Alle anderen Versuche waren von dieser Forderung umso mehr entfernt, je kleiner der Präparationswinkel der Modelle war. Dieses Verhältnis lässt sich auch rechnerisch erfassen und führte bei vielen Autoren dazu, dass der Präparationswinkel zur Erzielung klinisch brauchbarer Gussobjekte mit 15° - 20° und noch grösser angegeben wurde. Wie wir auf S. 10 angeführt haben, können wir diese stark konische Präparation nicht befürworten, weil mit zunehmender Konvergenz der Reibungswiderstand zwischen Krone und Zahn erheblich herabgesetzt wird, und die Festigkeit der Krone dadurch in Frage gestellt würde.

Weiterhin geht aus Abb. 21 hervor, dass der Wachsverarbeitung beim Modellieren grösstmögliche Sorgfalt geschenkt werden muss,

um Dehnungen oder Stauchungen des Waxes zu vermeiden. Insbesondere durch Vergleich der beiden Kurven B₁₊₂ und B₃ kann eindrucksvoll erkannt werden, dass ein gutes Gussergebnis, welches durch eine hochexpandierende Einbettmasse (z. B. Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment) erreicht werden könnte, völlig zunichte gemacht wird, wenn beim Modellieren das Wachs stark gedehnt wurde und das anschliessende Entspannen des Wachsmodells nicht ausreichend war.

Die Angaben über die Restkontraktion der Versuche mit Angusskronen -in Tabelle 16-21 zusammengestellt- sind nur relativ zu bewerten, weil durch die verschiedene Ringhöhe bedingt, keine direkte Beziehung zwischen Restkontraktion und Spaltbreite aufgestellt werden konnte, und somit können wir auch nicht die verschiedenen Spaltbreiten in direkte Beziehung zum Expansionsverhalten der verschiedenen Einbettmassen setzen.

Dennoch geht aus der Abb. 22 hervor, dass die Einbettmasse die klinische Brauchbarkeit von Angusskronen beeinflussen kann und besonders dann, wenn die Ringhöhe im Verhältnis zum Modell niedrig ist; entspricht aber der Kronenring der Höhe des Modellstumpfes so scheint der Einfluss der verschiedenen Einbettmassen von untergeordneter Bedeutung.

Eindrucksvoller in Abb. 22 ist die Feststellung, dass mit zunehmender Ringhöhe ein besseres Ergebnis zu erreichen ist und wir klinisch brauchbare Angusskronen erwarten können, wenn der Kronenring der Höhe des Modellstumpfes entspricht.

Schliesslich beeinflusst sicherlich auch die Wandstärke des anmodellierten Teiles die Passgenauigkeit der Angusskronen, besonders dann, wenn der Kronenring im Verhältnis zum Modellstumpf ziemlich niedrig ist; in unseren wenigen Versuchen können wir dazu nur Prinzipielles feststellen, genauere Untersuchungen müssten zur Klärung dieser Frage beitragen.

Abschliessend sei es uns gestattet die finanzielle Gesichtspunkte der verwendeten Einbettmassen kurz zu erwähnen, weil sie erfahrungsgemäss entscheidend in der Gusstechnik einzugreifen vermögen.

Bei der Verwendung von kleinen Mengen Einbettmasse mit 4,76 kg (= 10,5 lb) Kerr-Cristobalite-Inlay-Investment bzw. 4,50 kg Bayer-Duroterm-normal nach Preisen eines Dentaldepots veranschlagt, konnten wir errechnen, dass die Kosten für eine Füllung der Degussa-Gussküvette 1 R (Höhe 45 mm, Innendurchmesser 28 mm) Kerr-Cristobalite- (jeweils 33,0 g) ca. 0,20 DM, mit Bayer-Duroterm (jeweils 38,5 g) ca. 0,06 DM betragen, beim Kauf von grossen Mengen Einbettmasse verringert sich der Preis für 1 Füllung der Gussmuffel bei Duroterm (50,0 kg) auf 0,04 DM, bei Cristobalite (45,35 kg = 100 lb) auf 0,12 DM.

Bezugnehmend auf unsere Untersuchungsergebnisse müssen wir zu dem Schluss kommen, dass die erhebliche Verbesserung der Passgenauigkeit eines Gussstückes den geringen Mehrpreis einer Einbettung im Verhältnis zum Gesamtpreis eines fertigen Gussstückes rechtfertigt.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach dem ausführlichen Studium der Probleme der zahnärztlichen Guss- und Angusstechnik war es unser Ziel ein Gussverfahren zusammenzustellen, das im Schrifttum dargestellte Teilergebnisse berücksichtigt und diese im Laufe der Jahre gewonnenen Erkenntnisse mit den Möglichkeiten der heutigen Gusstechnik verbindet.

Zu diesem Zweck wurden als schematisierte Kronenstümpfe Drehkörper aus gehärtetem Silberstahl hergestellt. Bei einer Serie von 6 Modellen -für Vollgusskronen bestimmt- waren die Drehkörper konisch geformt, wobei sie bei gleicher Grundfläche unterschiedliche Präparationswinkel (0° bis 5°) aufwiesen.

Bei einer zweiten Serie -für Angusskronen bestimmt- unterschieden sich die Drehkörper von den entsprechenden Modellen der ersten Serie nur darin, dass der konische Teil der Kronen cervikalwärts um einen definierten Betrag zylindrisch verlängert war. Mit dieser zylindrischen Verlängerung der Stahlmodelle sollte für den aufgesetzten Kronenring aus gezogenem Degulor I ein höherer Reibungswiderstand zwischen Krone und Modell erreicht werden.

In praktischen Versuchen wurden 306 schematisierte Vollgusskronen auf den Stahldrehkörpern mit verschiedenen Präparationswinkeln in Wachs modelliert und in Degulor M gegossen; die einzelnen Kronen unterscheiden sich durch ihre Wandstärke, durch die Art ihrer Einbettung und die verwendeten Einbettmassen.

Die 166 Versuche mit Angusskronen, die auf den Kronenmodellen der zweiten Serie modelliert wurden, unterscheiden sich durch ihre Ringhöhe und die Wandstärke des anmodellierten Kronteiles, ferner durch die Einbettungsart und die verwendeten Einbettmassen.

Nach dem Guss konnte man bei den verschiedenen Kronen unterschiedliche Passgenauigkeit feststellen. Die jeweils entstandene Spaltbreite zwischen unterstem Kronenrand und cervikaler Stufe wurde messtechnisch ermittelt und als Mass für die Passgenauigkeit gewertet; dabei zeichnete sich folgendes Ergebnis ab:

- 1) Die Passgenauigkeit erhöht sich im Experiment mit zunehmendem Präparationswinkel; dieses entspricht den theoretischen Berechnungen.
- 2) Die Einbettmasse entscheidet wesentlich über die zu erwartende Passgenauigkeit. Bei den Versuchen konnte festgestellt werden, dass
 - a) die Einbettmasse BAYER-Duroterm-normal in keinem Fall "klinisch brauchbare" -gemäss DREYER-JØRGENSEN- Vollgusskronen herzustellen erlaubte. Die Restkontraktion betrug nach unseren Messungen mindestens 0,43 %, so dass

wir den Gesamtexpansionswert der Einbettmasse Duroterm normal mit 1,12 % (Herstellerfirma 1,55 %) angeben müssen. Die Anfertigung von Angusskronen kann bei richtigem Verhältnis von Ringhöhe zu Kronenstumpfhöhe und Präparationswinkel -zweckmässige Labortechnik vorausgesetzt- klinisch befriedigend sein.

- b) bei der Verwendung von KERR-Cristobalite-Inlay-Investment und strenger Einhaltung, der in unsere Arbeit angegebenen Arbeitsgänge -insbesondere Wachsverarbeitung und Muffel-auskleidung- praktisch kontraktionsfreie Vollgusskronen hergestellt werden konnten, sie können als "klinisch" gut bezeichnet werden. Einen weniger guten Einfluss hatte die hochexpandierende Einbettmasse auf die Passgenauigkeit von Angusskronen; hierbei konnten "klinisch" befriedigende Ergebnisse nur dann erzielt werden, wenn die Kronenringhöhe der Höhe des Modellstumpfes entsprach; dabei war die Passgenauigkeit etwas grösser als bei Verwendung von BAYER-Duroterm-normal.
3. Wird die Gussküvette nicht ausreichend mit Asbestpapier ausgekleidet -mindestens 1 mm dick- so beeinträchtigt sie das Expansionsbestreben der Einbettmasse.
4. Der Wachsverarbeitung ist insbesondere bei Vollgusskronen grösstmögliche Beachtung zu schenken, um innere Spannungen zu vermeiden, weil sich diese nachteilig auf das fertige Gussobjekt auswirken können.
5. Der Einfluss der Wandstärke von Vollgusskronen auf deren Passgenauigkeit scheint von untergeordneter Bedeutung zu sein.
6. Bei Angusskronen ist das Verhältnis von Kronenstumpfhöhe zu Ringhöhe für die zu erwartende Passgenauigkeit entscheidend.
7. Die Wandstärke des anmodellierten Teiles bei Angusskronen scheint im Rahmen der zahnärztlichen Praxis keinen Einfluss auf die Passgenauigkeit zu haben.

Abschliessend ist somit festzustellen:

Bei Anwendung der jeweils richtigen Technik und den entsprechenden Materialien besteht in der Passgenauigkeit zwischen Angusskronen und Vollgusskronen kein Unterschied. Die in unseren Versuchen erzielte Passgenauigkeit beider Kronenarten kann als "klinisch" befriedigend bezeichnet werden.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Ahrens, G. und R. Naujoks
Vergleichende Untersuchungen an elastischen Abdruckmaterialien für die indirekte Inlaytechnik.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1961, H. 6
2. Albrecht, K.-S.
Die Verwendung des Vakuums in der zahnärztlichen Gusstechnik.
Med. Diss. Bonn 1954
3. Appel, E.
Über Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guss durch entsprechende Massnahmen.
Med. Diss. München 1938
4. Babinger, M. Kritische Betrachtung des Schleudergussverfahrens.
Zahnärztl. Rundschau 1929, H. 24, 25,
5. Beeck, K.-H. Wissenswertes über die Metallverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Gussproblems.
Zahnärztl. Welt 1954, H. 24
6. Beeck, K.-H. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gussverfahren und ihre praktische Auswertung.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1958, H. 8
7. Bonsack, Chr. Der heutige Stand des Gussproblems.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1953, H. 1 + 2
8. Buck, W.
Über die Kompensation der Kontraktion bei Metallgüssen durch verschiedene Einbettmethoden.
Med. Diss. München 1951
9. Castedello, K. H.
Experimentelle Untersuchungen über das Angussverfahren bei Palladium-Silber-Legierungen (Pallilag). Diss. Kiel 1951
10. Columbus, A. Klinische und technische Erfahrungen mit Degulor.
Med. Diss. München 1953
11. Coleman, R. L. (zitiert nach Smreker (158))
Physical Properties of Dental Materials.
Dent. Cos. 1928, 68 : 743-764
12. Cosmann, M. Zum Verständnis der thermischen Expansion von Gusseinbettungsmassen.
Vjschr. Zahnhk. 1934, H. 1

13. Cosmann, M. Ergänzungen zur Aufzeichnung der thermischen Expansion von Gusseinbettungsmassen aus Kiesel-erden und Gips.
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1934, H. 12
14. Cosmann, M. u. O.
Zum Problem der Gusseinbettungsmassen.
Teil 1 und 2.
Dtsch. Zahn-, Mund-, Kieferhk. 1935, H. 6, H. 12
15. Coy, H. D. Casting Procedures in Dentistry.
(Gussmethoden in der Zahnheilkunde)
Internat. Dent. J. 1955, Nr. 5
Zit.: Quintessenz zahnärztl. Lit. 1955, Ref. 678
16. Danz, Chr. Einfluss der Verdichtung auf die Ausdehnung von Einbettmassen beim Vorwärmen.
Med. Diss. Frankfurt 1934
17. Degni, F. (zit. nach Hehring (38 a))
The Hygroscopic Expansion of Dental Investments.
Thesis. Northwestern University Dental School
1946
18. Degussa Nichtoxydierende Dentallegierungen.
Brief Nr. 11, 1933
19. Degussa Über das Angiessen von Palliag.
Brief Nr. 28, 1937
20. Degussa Hilfsmittel für die moderne Vorwärmetechnik.
Neue Folge Brief Nr. 16, 1952
21. Degussa Schmelzeinrichtungen.
Neue Folge Brief Nr. 20/21, 1954
22. Degussa Wie bekommt man dichte lunkerfreie Güsse?
Neue Folge Brief Nr. 22, 1954
23. Degussa Das Anbringen von Gusskanälen (1. u. 2. Teil)
Neue Folge Briefe Nr. 23 u. 24, 1955/56
24. Degussa Die angussfähige Platin-Goldlegierung Degulor i (inoxydabel).
Neue Folge Brief Nr. 28, 1958
25. Degussa Wird die Passgenauigkeit von MOD-Füllungen und Teleskopkronen durch die Richtung des Gusskanals beeinflusst?
Neue Folge Brief Nr. 30, 1960
26. Degussa Wie sind Schwefelschädigungen beim Vorwärmen von Edelmetall-Legierungen zum Anguss zu vermeiden?
Neue Folge Brief Nr. 33, 1961

27. Degussa (J.M. Ney Company)
Die gegossene partielle Prothese.
Degussa Frankfurt, 1957
28. Degussa unter Mitwirkung von Dr.K.Eichner
Herstellung von Kronen durch Anguss.
Degussa Berlin, 1959
29. Demisch, A. Der Werkstoff in der zahnärztlichen Praxis.
Hans Huber Verlag, Bern, 1946
30. Desalmand, F.
Einfluss gipshaltiger Einbettmassen auf Gussgold-
legierungen.
Med.Diss.,Heidelberg 1954
31. Docking, A.R. und Mitarbeiter (zit. nach Feinmann (50) und
Hehring (70))
The Hygroscopic Setting Expansion of Dental
Casting Investments.
Austral.J.Dent.1948/49
32. Dresner, J. Studien über Strömungsvorgänge in der Muffel
beim zahnärztlichen Gussverfahren.
Med.Diss.,Erlangen 1949
33. Dreyer, K. Über ein neues gas- und flammenloses Gussver-
fahren.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1954, H.3
34. Dreyer-Jørgensen, K.
Kontrollierbare Präzisionstechnik für dentale Me-
tallfüllungen.
Sonderdruck (dt) aus
Tandlaegebladet 1953, H.2
35. Dreyer-Jørgensen, K.
Investigations on Dental Precision Casting Tech-
nic.
Sonderdruck (engl) aus
Göteborgs Tandläkare-Sällskaps Arsbok 1953
u. a. zit.: Quintessenz zahnärztl.Lit.1954
Ref.493
36. Dreyer-Jørgensen, K.
Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gussverfahren.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1958, H.8
37. Drum, W. Goldkronen und Angussverfahren.
Quintessenz zahnärztl.Lit.1959, Ref.1295

38. Eichner, K. und Mitarbeiter
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung.
a) Hehring, H. Einbettmassen.
b) Rehberg, H.J. Zahnärztliche Wachse.
c) Wagner, E. Edelmetalle.
d) Munk, P. Laboratoriumseinrichtungen.
Berlinische Verlagsanstalt 1960
39. Effinger, A. Volum-, Gewichts- und Elastizitätsverhalten zahnärztlicher Abdruckmassen auf Siliconbasis.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1958, H. 5
40. Eifinger, F. und A.Maas
Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über eine angussfähige Dentalgoldlegierung.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1961, H.18
41. Elander, K. Das Problem der Herstellung exakter Goldgussfüllungen.
Korresp.bl.Zahnärzte 1928, H.9 u. 10
42. Elander, K. (zit. nach Geier (57) und Harndt (69))
Das Giessen von Goldeinlagen.
Meusser Verlag, Berlin 1929
43. Endell, K. und U.Hofmann
Roentgenoptische und dilatometrische Untersuchungen an Einbettmassen.
Zahnärztl.Rundschau 1934, Nr.37
44. Endres, C. Einbettungsmassen und thermische Expansion.
Dent.Labor 1958, H.6
45. Fabian, H. Metall- oder Papierzylinder.
Zahnärztl.Rundschau 1930, H.28
46. Faesch, T. (zit. nach Feinmann (50))
Untersuchungen über Gusstruktur und Giessverfahren bei verschiedenen zahnärztlichen Kronen- und Brückenlegierungen.
Schweiz.Mschr.Zahnhk.1939
47. Falck, K. Über das "Angiessen".
Dtsch.zahnärztl.Wschr.1933, H.6
48. Falck, K. Einführung in die Werkstoffkunde für Zahnärzte.
2. erweiterte Auflage
Carl Hanser Verlag, München 1948

49. Falck, K. und P. Weikart
Werkstoffkunde für Zahnärzte.
3. Auflage, völlig neu bearbeitet von Dr. P. Weikart
Carl Hanser Verlag, München 1959
50. Feinmann, P. B.
Zahnärztliche Einbettungsmethoden und Gussprobleme.
Med. Diss. Düsseldorf 1957
51. Fischer, A. Untersuchungen über die Möglichkeiten der Erzielung einer glatten Oberfläche beim zahnärztlichen Gussverfahren.
Med. Diss. München 1930
52. Flaumenhaft, E.
Arbeitsmethoden zur möglichst guten Ausnutzung der Expansion der Einbettmassen beim Giessen der Füllungen.
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1934, H. 13
53. Fritsch, C. Elbrecht u. Nowack
Das Giessen mit dem "Verlorenen Kopf".
Zahnärztl. Rundschau 1930, Nr. 17
54. Fusayama, T. und Mitarbeiter (zit. nach Fusayama (56))
Expansion of Investment in Casting Rings.
Bul. Tokyo Med. a. Dent. Univ. 1957
55. Fusayama, T.
Technical Procedure of Precision Casting.
J. Pros. Dent. 1959, Nr. 6
56. Fusayama, T.
Factors and Technic of Precision Casting
(Part I and II)
Sonderdruck (engl) aus
J. Pros. Dent. 1959, Nr. 3
u. a. zit.: Quintessenz zahnärztl. Lit. 1959
Ref. 1328
57. Geier, W.
Erzielung von Qualitätsgüssen bei vereinfachtem Gussverfahren.
Zahnärztl. Rundschau 1932, Nr. 39
58. Gerlach, H. P.
Über die Kompensation von Kontraktionserscheinungen im Metallgussverfahren.
Zahnärztl. Rundschau 1932, Nr. 51

59. Gerlach, H. P.
Über Expansit-Einbettungsmassen und ihre Verarbeitung im Gussverfahren.
Zahnärztl. Rundschau 1933, Nr. 48
60. Gerlach, H. P.
Wie weit können die Kaltexpansion der Einbettmassen und die Wachsexpansion das Gussresultat beeinflussen?
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1933, Nr. 31
61. Gerlach, H. P.
Die Höhe der Restkontraktion und ihr Ausgleich beim Gussverfahren.
Zahnärztl. Rundschau 1934, Nr. 7
62. Gerlach, H. P. (zit. nach Hehring (38 a))
Thermovolumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gussverfahren.
H. Meusser Verlag, Berlin 1935
63. Grassl, J. F. Verbesserung der Oberflächen von Güssen durch Netzmittel und Vakuumereinbettung.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1954, H. 18
64. Greve, K. (zit. nach Falck-Weikart (49))
Über die Entwicklung des Metallgussverfahrens in der Zahnheilkunde.
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1922, Nr. 44
65. Guttack, E. Experimentelle Untersuchungen über das Angiessen und Nachlöten zahn technischer Goldlegierungen.
Med. Diss. Kiel 1957
66. Häupl, K., W. Meyer, K. Schuchardt
Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Band IV
a) Häupl, K. Zahnärztliche Kronenarbeiten
b) Mathé, J. Zahnärztl. Laboratoriumstechnik.
Band V
c) Dolder, E. Nichtmetallische Werkstoffe
d) Spreng, M. Edelmetalle.
Urban u. Schwarzenberg Verlag, München 1955/56
67. Han, D. S. Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gussproblems.
Dtsch. Mschr. Zahnk. 1930, Nr. 6
68. Hansohm, P. Vergleichende Bestimmung der Restkontraktionswerte gebräuchlicher Gussmetalle beim zahnärztlichen Gussverfahren.
Med. Diss. Frankfurt 1957

69. Harndt, E. Der Goldguss in der zahnärztlichen Praxis.
Dtsch.zahnärztl. Wschr.1933, Nr.30
70. Hehring, H. Die prozentualen linearen Veränderungen eines Palliaggusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettungsmethoden.
Med.Diss.Freie Uni.Berlin 1955
71. Hehring, H. Die Oberflächenrauigkeit eines Palliaggusses.
Dtsch.Zahn-, Mund-, Kieferhk.1957, H.3 u. 4
72. Höfer, G. Über das Volumenverhalten einiger zahnärztlicher Einbettungsmassen unter Berücksichtigung der Hygroskopischen Expansion nach Scheu.
Med.Diss.Leipzig 1956
73. Hollenback, G.M. und E.W.Skinner (zit. nach Johnston (84))
Shrinkage during Casting of Gold and Gold Alloys.
J.A.D.A. 1946, 33 : 1391-99
74. Hollenback, G.M. (zit. nach Johnston (84))
Simple Technic for Accurats Castings: New and Original Method of Cacuum Investing.
J.A.D.A. 1948, 36 : 391-97
75. Horn, van C.S. (zit. nach Feinmann (50))
Concerning Casting Methods.
Dent.Cos.1910, 52 : 873-81
76. Horn, van C.S.
Expanded Pattern Casting Technic.
(Modellwachse und ihre Behandlung bei der Guss-
technik von Goldeinlagen.)
J.A.D.A. 1931, Bd.18
zit.: Dtsch.zahnärztl. Wschr.1931, S.1332
77. Ilg, V.K. Volumenveränderung bei der Verarbeitung neuer Gusswachse.
Zahnärztl.Rundschau 1939, Nr.28
78. Ilg, V.K. Über die Brinellhärte der in der indirekten Technik gebräuchlichen Modellwerkstoffe.
Dtsch.zahnärztl. Zschr.1949, H.23
79. Ilg, V.K. Die Dreiviertelkrone.
2. verbesserte Auflage
Carl Hanser Verlag, München 1951
80. Ilg, V.K. Untersuchungen zur indirekten Technik im besondern zur Abdruckgenauigkeit in der indirekten Technik.
Dtsch.zahnärztl. Zschr.1954, H.21

81. Ilg, V.K. Untersuchungen zur indirekten Technik im besonderen zur Modelltreue in der indirekten Technik.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1955, H.9
82. Ilg, V.K. Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Silicone-Abdruckmassen (in 10 Teilen).
Übersicht in Teil X
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1960, H.17
83. Ilg, V.K. Untersuchungen zur "indirekten Technik"
Teil I: Gedanken zur indirekten Technik.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1959, H.17
Teil II: Modellmaterial geformt, Präparation positiv.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1961, H.17
84. Johnston, J.F., R.W.Phillips und R.W.Dykema
Modern Practice in Crown and Bridge Prosthodontics.
W.B.Saunders Company, Philadelphia 1960
85. R.W.Phillips u. D.H.Biggs
Der Einfluss der Lagerzeit, der Lagertemperatur und Verarbeitungstemperatur auf den Verzug von Wachsabdrücken.
Zeitschrift für Zahntechnik, 1950, H.19 u. 20
86. Jacob, W. Die Expansion und Kontraktion der Palladium-Silber- und der Spargold-Legierungen nebst praktischen Giessversuchen zum Ausgleich der Kontraktion beim Gussverfahren.
Buchdruckerei Böhlze Tübingen 1939
87. Jeanneret (zit. nach Rehberg (38 b))
Aus Theorie und Praxis der Gussfüllung.
Schweiz.Mschr.Zahnhk.1933, Nr.9
88. Janke, G. Sichere Präzisionsgüsse mit einfachen Mitteln hergestellt.
Dent.Labor 1953, H.4
89. Jung, F. Studien über Einbettmassen und ihren Einfluss auf die Oberflächengestaltung von Gussarbeiten.
Dtsch.zahnärztl.Wschr.1926, Nr.7
90. Junge, J. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Gussfaktoren auf das Gelingen eines Gold- bzw. Palliag-Angusses.
Med.Diss.Freie Uni.Berlin 1955

91. Kiwkowicz, A.A.
Experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit der Vakuum Druckeinbettung beim zahnärztlichen Gussverfahren.
Med.Diss.Tübingen 1949
92. Kluge, (zit. nach Spreng (66 d))
Untersuchungen über den Einfluss der Gussmethoden und der Gebläseflamme auf die Porenbildung an einer Edelmetall-Gusslegierung.
Med.Diss.Basel 1943
93. Klumpp, D. Einfluss des Muffelwerkstoffes auf die Passgenauigkeit zahnärztlicher Güsse.
Med.Diss.Mainz 1959
94. Knappwost, A.
Über das thermische Expansions- und Kontraktionsverhalten von Dentallegierungen und Einbettmassen und deren Beziehung zur Sekundärkaries.
Zahnärztl.Welt 1949, Nr.10
95. Knischewski, F.
Materialienkunde der Zahntechnik.
Teil I: Nichtmetallische Werkstoffe.
Vierte verbesserte Auflage 1951
Teil II: Metallkunde.
Dritte verbesserte Auflage 1950
Richard Pflaum Verlag München
96. Könsgen, W. Die Passgenauigkeit von Gussringen bei der Vakuumeinbettmethode; vergleichende Untersuchungen mit der Schichtkernmethode und den Schleudereinbettverfahren.
Med.Diss.Marburg 1956
97. Kubasch, W. Über die Technik des Präzisionsgusses.
Degussa 1961 (unveröffentlicht)
98. Kühl, W. Beitrag zur Angusstechnik.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1960, H.18
99. Kufner, I. Vergleichende Untersuchungen über Modellguss-, Doublier- und Einbettmassen.
Med.Diss.München 1955
100. Fa.Kulzer u. Co.
Zahnbein und Zahnpein
Fa.Kulzer u. Co., Bad Homburg, ca. 1958

101. Kyselova, J., B. Kyela u. J. Mares
Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1958, H. 22
102. Landgren, N., F. A. Peyton (zit. nach Feinmann (50))
A Hygroscopic Expansion of Some Casting Investments.
J. Dent. Res. 1950, 29 : 469-81
103. Langer, A. Das Problem der einwandfreien Herstellung der MOD-Gussfüllungen.
Med. Diss. München 1948
104. Lasater, R. L. (zit. nach Schilling (146) und Johnston (84))
Control of Wax Distortion by Manipulation.
J. A. D. A. 1940, Nr. 4
105. Ledniczer, v. S.
Die Gummiküvettenmethode.
Zschr. Stomat. 1932, Nr. 23
106. Leuser, J. Kritisches über Gussapparate.
Zahnprothese 1932, S. 89
107. Leuser, J. Über das Angiessen an Palladium-Silberlegierungen.
Dtsch. Dent. Wschr. 1937, Bd. 57, S. 879-882
108. Lindermann, R.
Untersuchungen über Wege zur Erzielung grösster Gussgenauigkeit in der Inlaytechnik.
Med. Diss. Köln 1957
109. Loebich, O. Über das Löten.
Zschr. f. Zahntechnik 1950 H. 5
110. Loebich, O. Das Gefüge von Goldgussarbeiten.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1953, Nr. 4
111. Loebich, O. Der Lunker und seine Vermeidung.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1953, Nr. 18
112. Loebich, O. Wissenwertes über zahntechnische Edelmetalllegierungen in Frage und Antwort.
Dritte verbesserte Auflage
Degussa 1961
113. Lyon, H. W., G. Dickson, J. C. Schoonover
The Mechanism of Hygroscopic Expansion in Dental Casting Investment.
Sonderdruck (engl.) aus
J. Dent. Res. 1955, Bd. 34, S. 44-50

114. Lyon, H.W., G. Dickson und J. C. Schoonover (zit. nach Souder und Paffenbarger (162))
Effectiveness of Vacuum Investing in the Elimination of Surface Defects in Gold Castings.
J. A. D. A. 1953, 46 : 197
115. Mathé, J. Inlay- und Kronenarbeiten.
Urban u. Schwarzenberg Verlag, Wien 1948
116. Mihm-Vogt, H.
Temperatur-Regeleinrichtungen.
Hazet-Prospekt, Karlsruhe
zit.: Quintessenz zahnärztl. Lit., Ref. 1127
117. Moore, T.E. (zit. nach Feinmann (50))
Resume of the Expansion Required to Compansate for Casting Gold Shrinkage.
J. Pros. Dent. 1952, Bd. 2, S. 550-556
118. Mumford, G. und R. W. Phillips
Dimensional Change in Wax Patterns During Setting of Gypsum Investments.
Sonderdruck (engl) aus
J. Dent. Res. 1958, Nr. 2
119. Münch, F.C.
Werdegang und Vervollkommnung der dentalen Edelmetallgusstechnik.
Dtsch. Zahnärztebl. 1959, Nr. 18
120. Nehse, K. Metallgusstechnik und ihre Bedeutung für die zahnärztliche Prothetik.
Zahnärztl. Welt 1950, Nr. 8
121. Nelke, J. Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften von Gusswachsen und ihre Nutzenanwendung für die zahnärztliche Gusstechnik.
Med. Diss. Freiburg 1938
122. Neuendorf, E.
Kritische Betrachtungen über die verschiedenen zahnärztlichen Gussverfahren in physikalischem und physicochemischem Sinne und ihre Auswertung für ein neues Gussgerät.
Med. Diss. Marburg 1941.
123. Oehrlein, A. (zit. nach Oehrlein (124))
Leitfaden der zahnärztlichen Gusstechnik.
Berlinische Verlagsanstalt 1928
124. Oehrlein, A. Cristobalit eine neue Einbettmasse.
Zahnärztl. Rundschau 1933, Nr. 27

125. Oeschger, H.X.
Vergleichende Untersuchungen über das Einbetten
mit im Vakuum von Luftblasen befreiter Einbet-
tungsmasse.
Med.Diss.Düsseldorf 1953
zit.: Dtsch.Zahn-, Mund-, Kieferhk. 1955, Nr.5 u.
126. Oettinger, R.
Das Giessen mit dem "Verlorenen Kopf".
Zahnärztl.Rundschau 1930, Nr.6
127. Oettinger, R.
Expansionstechnik zum Ausgleich der Restkontrak-
tion der Goldlegierungen beim Guss.
Zahnärztl.Rundschau 1934, Nr.3
128. Overdiek, H.-F.
Die Anwendung des Vakuums in der Zahnheilkunde.
Carl Hanser Verlag, München 1962
129. Peyton, F.A. und Mitarbeiter
Hygroscopic Technique for Inlay Casting Using
Controlled Water Additions.
J.Pros.Dent. 1955, H.5
130. Philbrook, B.F. (zit. nach Feinmann (50))
Trans.Iowa State Dent.Soc. 1896/97
131. Phillips, R.W. (zit. nach Johnston (84))
Relative merits of vacuum investing of small ca-
stings as compared to conventional methods.
J.Dent.Res. 1947, 26 : 343
132. Preisseecker, O.
Die Gussmethoden mit Wachsexpansion.
Zschr.Stomat. 1930, Nr.2
133. Price, W.A.
The Behavior of Gold in Fusing and Casting.
Dent.Cos. 1911, 53 : 265-194
zit.: Dtsch.Mschr.Zahnhk. 1922, Nr.3
134. Prothero, J.H. (zit. nach Feinmann (50))
Prosthetic Dentistry Forth Edition p.194
Medico Dental Publishing Comp. Chicago 1928
135. Rau, G.
Untersuchungen zur Frage: Bleibt die Form beim
zahntechnischen Guss ähnlich.
Med.Diss.Tübingen 1949
136. Rehberg, H.J.
Ein Beitrag zur Prüftechnik zahnärztlicher Wachse.
Dtsch.zahnärztl.Zschr. 1955, H.21

137. Rice, W.S. (zit. nach Feinmann (50))
Casting to Dimensions Employing a Water Submer-
sion Compensation Principle.
Dent. Cos. 1929, 71 : 960-969
138. Rice, W.S. (zit. nach Feinmann (50))
Dimensional Dental Casting.
J. A. D. A. 1931, 18 : 1280-87
139. Rigbers, W. Über Vorbedingungen des Präzisionsgusses.
Med. Diss. Frankfurt 1937
140. Rohrbach, H.
Über den Einfluss von Gussspannungen auf die
Formabweichungen zahnärztlicher Gusstücke.
Med. Diss. Tübingen 1961
141. Rother, W. Entstehung von Porositäten in Gusstücken und
deren Vermeidung durch geeignete Massnahmen.
Med. Diss. Tübingen 1943
142. Schöffner, H.
Formveränderungen von Goldgüssen für die Zahn-
heilkunde in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung
mit besonderer Berücksichtigung der Vergütung.
Med. Diss. Heidelberg 1931
zit.: Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1931, Nr. 21
143. Scheffler, K.
Der Einfluss verschiedener Gussmethoden auf die
Beschaffenheit der Gusstücke in der zahnärztli-
chen Praxis.
Med. Diss. Frankfurt 1931
zit.: Zahnärztl. Rundschau 1932, Nr. 1, 2 u. 3
144. Scheu, C.H. (zit. nach Feinmann (50))
Precision Casting Utilizing The Hygroscopic Ac-
tion of Pflaster in Making Expanded Moulds.
J. A. D. A. 1933, 20 : 1205-15
145. Scheu, C.H. (zit. nach Feinmann (50))
A New Precision Casting Technic.
J. A. D. A. 1932, Nr. 19
146. Schilling, K.
Verformt sich die Einbettmasse unter dem Druck
der eingeschleuderten Schmelze.
Med. Diss. Tübingen 1956
147. Schmitt, K. Die Form der Gussmulde sowie Anordnung und
Grösse der Gusstifte als Voraussetzung für das
Gelingen von Metallgüssen.
Med. Diss. München 1948

148. Schmitt, K. Die Vermeidung von Fehlern und Misserfolgen bei Metallgüssen.
Dtsch.zahnärztl.Zschr.1949, H.22 u. 23
149. Schoenbeck, F.
Kurzer Leitfaden der zahnärztlichen Materialkunde.
Zweite umgearbeitete Auflage
Hermann Meusser Verlag, Berlin 1931
150. Schubert, L.
Über Fragen des Goldgussverfahrens.
Zahnärztl.Rundschau 1930, Nr.1
151. Schubert, L.
Über Volumenveränderungen von Einbettmassen.
Dtsch.zahnärztl.Wschr.1932, Nr.22
152. Schubert, L.
Expansionsgussverfahren und Untersuchungen über ihre praktischen Wert.
Dtsch.zahnärztl.Wschr.1932, Nr.2
153. Schubert, L. und Klode
Die Auswirkung der Volumenänderung einiger Einbettmassen auf die Gusskontraktion des Goldes auf Grund volumetrischer Messungen.
Dtsch.zahnärztl.Wschr.1933, Nr.31
154. Schwindling, R.
Untersuchungen der Oberflächenfeinstruktur von Metallgüssen bei verschiedener Einbettungsart unter Vakuum.
Zahnärztl.Rundschau 1955, Nr.18
155. Selbach, F.W.
Dentale Laboratoriumskunde.
Carl Hanser Verlag, München 1951
156. Singer, F. und R.Peukert
Der heutige Stand der Gusstechnik.
Zahnärztl.Reform 1954, Nr.17/18
157. Skinner, E.W. (zit. nach Dreyer-Jørgensen (35))
The Role of Investment Setting Expansion in Gold Compensating and Casting Technic.
Dent.Cos.1933, 75 : 1009-18
158. Smreker, E. Das Gussverfahren für Goldeinlagefüllungen unter besonderer Berücksichtigung des Kerrschen Verfahrens.
Zahnärztl.Rundschau 1932, Nr.1

159. Solbrig, O. Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen
in dem Gussverfahren.
Vjschr. Zahnhk. 1922, H. 1
160. Spanner, J. Grundlagen der Gusstechnik.
Schweiz. Mschr. Zahnhk. 1933, H. 1
161. Stüben, J. und W. F. Hoppe
Über die Verwendung gummielastischer Materia-
lien bei der indirekten Methode zur Herstellung
von Gussfüllungen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1961, H. 10
162. Souder, W. und G. C. Paffenbarger
Physical Properties of Dental Materials.
Government Printing Office Washington 1942
163. Sweeney, W. T. (zit. nach Souder u. Paffenbarger (164))
Cristobalite for Dental Investment.
J. A. D. A. 1933, 20 : 108-119
164. Taege, F. Untersuchungen über die hygroskopische Expan-
sion von Einbettmassen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1958, H. 2
165. Taggart, W. H. (zit. nach Feinmann (50))
A New and Accurate Method of Making Gold Inlays.
Dent. Cos. 1907, 49 : 1117-21
166. Taylor, O. N., Paffenbarger u. W. T. Sweeney (zit. nach
Souder (162))
Specification for Inlay Casting Wax.
J. A. D. A. 1931, 18 : 40-52
167. Taylor, O. N., Paffenbarger, W. T. Sweeney
Einbettmassen für zahnärztliche Gussfüllungen;
physikalische Eigenschaften und Einteilung.
ref.: in Dtsch. Mschr. Zahnhk. 1931
168. Thiel, H. van
Bericht über die wissenschaftliche Tagung der
Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothe-
tik und Werkstoffkunde in Mainz vom 25.-27.3.1955
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1955, H. 15
169. Thiel, H. van
Bericht über die wissenschaftliche Tagung der
Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werk-
stoffkunde in München am 21. + 22.8.56 (Teil II)
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1957, H. 2

170. Torfs, A.E. La Précision en Prothèse Fixe.
Sonderdruck (franz) aus
Rev. Française d'odonto-Stomatologie 1959, Nr. 5
171. Trurnit, F. (zit. nach Klumpp (93))
Über die Kontraktion des Goldes beim Giessen von
Füllungen und Brücken.
Med. Diss. Frankfurt 1922
172. Uhlig, H. Angussmöglichkeiten bei Herstellung zahnärztli-
cher Brückenprothesen aus Palladium-Silber-Le-
gierungen.
Zschr. f. Zahntechnik, Bd. 5, S. 220-224
173. Uhlig, H. Kann man zahntechnische Goldlegierungen angies-
sen?
Dent. Labor 1958, Bd. 6, S. 3-9
174. Vachuda, J. Die Verzerrung der Gussform während der ther-
mischen Dehnung.
Dent. Reform 1936, Nr. 36
175. Väth, A. Schleuderguss und seine metallkundlichen Unter-
suchungen.
Med. Diss. München 1929
176. Vest, G. Lehrbuch der zahnärztlichen Kronen- und Brücken-
prothetik.
Band I: Kronenprothetik
Birkhäuser Verlag, Basel 1951
177. Volland, R. H. und G. C. Paffenbarger (zit. nach Souder (162))
Cast Gold Inlay Technic.
J. A. D. A. 1932, 19 : 185-202
178. Wagner, E. Metallkundliche Betrachtungen.
Zahn Praxis 1958, Nr. 17
179. Wagner, E. Probleme der Angusstechnik.
Zahnärztl. Welt/Reform 1959, Nr. 23
180. Wagner, E. Aushärtung (Vergütung).
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1960, H. 11
181. Walter, P. Das Entfetten von Wachsmodellen.
Dent. Labor 1958, Nr. 10
182. Walter, P. Dental-Legierungen von Heute.
Sonderdruck aus
Metall 1960, H. 7

183. Wannenmacher, E.
 Kronenarbeiten I
 Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1933, Nr. 46
 Kronenarbeiten II
 Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1934, Nr. 4
184. Weikart, P. Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffe.
 Carl Hanser Verlag München 1950
185. Weikart, P. Zum Thema Präzisionsguss.
 Dent. Labor 1956, Nr. 3
186. Weikart, P. Grenzen und Prüfung der Gussgenauigkeit.
 Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1957, H. 12
187. Weiss, J. (zit. nach Klumpp (93))
 Über das Giessen von Goldeinlagen.
 Zschr. Stomat. 1932, Nr. 7
188. Wetterström, E. T.
 Demonstration des richtigen Anbringens von
 Gussstiften.
 Thermotrol Thechnician 1959, H. 5/6
 zit.: Quintessenz zahnärztl. Lit. 1959, Ref. 1275
189. Wiesinger, H.
 Untersuchungen und Gedanken über den Expansions-
 guss.
 Zahnärztl. Rundschau 1933, Nr. 17/18
190. Zajonczkowski, J.
 Versuch, die Gesetzmässigkeit für die Gasdurch-
 lässigkeit von zahnärztlichen Einbettmassen zu
 finden.
 Med. Diss. Erlangen 1949

Für die freundliche Überlassung des Themas und die Ratschläge bei dessen Bearbeitung möchte ich meinen verehrten Lehrer Herrn Professor Dr. Hans van Thiel herzlich danken. Ebenso danke ich der Firma Degussa Pforzheim für die grosszügige Bereitstellung der Apparaturen und für die Überlassung sämtlicher Materialien; mein besonderer Dank gilt dem Leiter der Metallographischen Abteilung der Degussa Pforzheim, Herrn Dr. Ewald Wagner für seine liebenswürdige Unterstützung und die wertvollen Hinweise beim Entstehen der Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 1. Dezember 1938 wurde ich in Karlsruhe geboren als Sohn des Zahnarztes Dr. Wolfgang Zähringer und seiner Ehefrau Maria, geb. Gratz, - aus Pforzheim. Durch Nachkriegswirren bedingt besuchte ich nur zwei Jahre die Volksschule, trat im Herbst 1948 in das naturwissenschaftlich-neusprachliche Kepler-Gymnasium zu Pforzheim ein und legte dort im Frühjahr 1957 die Reifeprüfung ab.

Mit dem Sommer-Semester 1957 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität zu Heidelberg und bestand dort im August 1959 die zahnärztliche Vorprüfung. Die klinische Ausbildung erhielt ich an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München und beendete am 12. Dezember 1962 mit dem Abschluss des zahnärztlichen Staatsexamens mein Studium.

Seit 15. Dezember 1962 bin ich als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der Konservierenden Abteilung der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität München tätig.

